

**MAMMIFERE NON-HUMAIN TRANSGENIQUE POUR LA REGION
CONSTANTE DE LA CHAÎNE LOURDE DES IMMUNOGLOBULINES
HUMAINES DE CLASSE A ET SES APPLICATIONS**

La présente invention est relative à un mammifère non-humain
5 transgénique pour la région constante de la chaîne lourde des immunoglobulines
humaines de classe A et à ses applications pour la production d'anticorps humanisés
de classe IgA.

Les immunoglobulines A (IgA) comprennent deux chaînes lourdes
identiques, d'isotype $\alpha 1$ (sous-classe IgA1) ou $\alpha 2$ (sous-classe IgA2) chez l'homme,
10 associées par l'intermédiaire de ponts disulfures, à deux chaînes légères identiques
d'isotype kappa (κ) ou lambda (λ).

La chaîne lourde α , qui est spécifique de cette classe
d'immunoglobulines, existe sous forme membranaire et sous forme sécrétée. La forme
sécrétée comprend quatre domaines d'environ 110 acides aminés : un domaine
15 variable VH et trois domaines constants CH1, CH2 et CH3, ainsi qu'une région
charnière (H) entre CH2 et CH3 et un octapeptide C-terminal. L'avant-dernière
cystéine de cet octapeptide peut former une liaison covalente avec la chaîne J (ou
pièce de jonction) qui sert à associer deux chaînes lourdes d'IgA de façon à former des
IgA dimériques. La forme membranaire comprend en outre un domaine hydrophobe
20 permettant l'ancrage de la protéine dans la membrane, ainsi qu'un domaine intracyto-
plasmique. La région de la chaîne lourde correspondant aux domaines CH1, CH2, H,
CH3 associés, soit à l'octapeptide C-terminal (forme sécrétée), soit au domaine hydro-
phobe et intracytoplasmique (forme membranaire), est dénommée région constante par
opposition à la région correspondant au domaine variable VH, qui est dénommée
25 région variable.

Les chaînes légères κ et λ , qui sont communes à l'ensemble des
classes et sous-classes d'immunoglobulines, comprennent deux domaines : un
domaine variable (VL) et un domaine constant (CL). Chez l'Homme, l'expression des
chaînes κ et λ est équivalente, alors que chez la souris l'expression du locus λ est très
30 faible de telle sorte que 95 % des chaînes légères sont de type κ . La région de la chaîne
légère correspondant au domaine CL est dénommée région constante par opposition à
la région correspondant au domaine variable VL, qui est dénommée région variable.

Les gènes des immunoglobulines sont organisés en locus, un locus pour les chaînes lourdes (locus IgH) et un locus pour chacune des chaînes légères (locus lambda et kappa).

Les locus des chaînes légères comprennent chacun des gènes V et J
5 codant pour le domaine variable et des gènes C codant pour le domaine constant ; au cours de la différenciation des lymphocytes B, un gène V est réarrangé avec un gène J et un gène C, et la région V subit en outre des mutations somatiques qui permettent de produire des anticorps de forte affinité pour l'antigène.

Le locus des chaînes lourdes comprend des gènes V, D et J codant
10 pour le domaine variable et des gènes C ($C\mu$, $C\delta$, $C\gamma$, $C\epsilon$ et $C\alpha$) codant pour les domaines constants des isotypes des différentes classes d'immunoglobulines ; chaque gène C, sauf $C\delta$, est précédé d'une séquence de commutation ou « switch » (S). Les gènes $C\alpha$ ($C\alpha 1$ et $C\alpha 2$ chez l'homme) contiennent des introns séparant les exons codant pour les domaines constants CH1, CH2 et CH3 et l'exon de membrane (mb) ;
15 la séquence codant pour la région charnière est incluse dans l'exon CH2. Au cours de la différenciation des lymphocytes B, un gène V est réarrangé avec un gène D et un gène J, et la région V subit également des mutations somatiques qui permettent de produire des anticorps de forte affinité pour l'antigène. En outre, alors que la réponse primaire à l'antigène est constituée principalement d'IgM, la réponse secondaire est
20 associée au mécanisme de commutation de classe au cours duquel la séquence de commutation $S\mu$, située en amont de $C\mu$ recombine avec une autre séquence de commutation conduisant ainsi la production d'une autre classe d'immunoglobuline (IgG, IgE ou IgA).

La diversité des anticorps produits en réponse à la stimulation par un
25 antigène provient de la combinaison de plusieurs mécanismes : la multiplicité des gènes V, la mutation somatique de ces gènes V, la recombinaison somatique des gènes V et la recombinaison somatique des séquences de commutation.

Les IgA existent dans l'organisme sous deux formes différentes : une IgA sérique et une IgA sécrétoire (s-IgA).

30 L'IgA sérique représente 15 à 20 % des immunoglobulines sériques ; plus de 80 % de l'IgA sérique humaine est sous forme de monomère, alors que chez la

plupart des autres espèces de mammifères, elle est essentiellement sous forme de dimère.

L'IgA sécrétoire constitue la principale immunoglobuline des sécrétions (oculaires, salivaires, mammaires, trachéobronchiques et urogénitales), où elle est existe sous la forme d'un dimère d'IgA associé à une autre protéine, le composant sécrétoire, qui est probablement enroulé autour du dimère d'IgA et attaché par des ponts disulfures au domaine CH2 de chaque monomère d'IgA. Contrairement à la chaîne J, la pièce sécrétoire n'est pas synthétisée par les plasmocytes mais par les cellules épithéliales. L'IgA dimérique sécrétée par les plasmocytes sous-épithéliaux se lie aux récepteurs poly-Ig présents au pôle basal des cellules épithéliales. Le complexe s-IgA/récepteur est alors endocyté et transporté à travers la cellule tout en restant fixé à la membrane des vésicules de transport. Celles-ci fusionnent avec la membrane plasmique à la surface luminale et libèrent l'IgA dimérique associée à la pièce sécrétoire qui provient du clivage du récepteur. Ainsi la pièce sécrétoire facilite le transport des IgA dans les sécrétions et les protège de la protéolyse.

Du fait de leur capacité à traverser l'épithélium des muqueuses et à prévenir l'entrée de pathogènes comme les virus, les bactéries, les parasites et les toxines, les IgA jouent un rôle majeur dans l'immunité locale : oculaire, respiratoire, digestive et urogénitale. Le mode d'action des IgA englobe des mécanismes actifs (activation du complément, liaison au récepteur Fc) et passifs (blocage des récepteurs des pathogènes (virus) et inhibition de la motilité des bactéries). Une corrélation étroite entre une réponse IgA spécifique et la protection contre une infection a été démontrée, notamment pour des virus (rotavirus, virus influenza, poliovirus, cytomégalo virus, virus respiratoire syncytial, virus Epstein-Barr). Des anticorps protecteurs de classe IgA dirigés contre de nombreux pathogènes humains (VIH, virus influenza A, bactéries, toxines, parasites) ont été isolés.

En raison de cette propriété particulière, les IgA ont des applications spécifiques pour le diagnostic et le traitement des maladies infectieuses et du cancer. Elles pourraient être utilisées en immunothérapie passive pour neutraliser des pathogènes (sérothérapie). Elles pourraient également être utilisées en immunothérapie active (vaccination) comme vecteur pour cibler des antigènes de tumeurs ou de micro-organismes pathogènes dans les muqueuses, de façon à induire une immunité locale

spécifique de ces antigènes. En outre, elles sont utiles comme réactif fiable, sûr, stable et bien défini pour le diagnostic de maladies comme la maladie cœliaque, en remplacement des IgA humaines (IgA anti-transglutaminase, anti-endomysium, anti-gliadine) provenant des patients, qui exposent les manipulateurs à des risques de transmission
5 de pathogènes humains (virus, prion).

Toutefois, le développement de ces applications est limité du fait qu'il n'existe pas de méthode efficace de production d'anticorps recombinants humains ou humanisés, de classe IgA.

On entend par anticorps humanisé, un anticorps dérivé d'un mammi-
10 fère non-humain par fusion des domaines constants des chaînes lourdes et légères d'un anticorps humain avec les domaines variables des chaînes lourdes et légères d'un anticorps d'un mammifère non-humain.

En effet, les méthodes de productions d'anticorps recombinants humains ou humanisés actuellement disponibles présentent les inconvénients
15 suivants :

* les méthodes *in vitro* reposent sur l'expression simultanée, à partir d'un ou plusieurs vecteurs recombinants, de chaînes lourdes et légères d'anticorps, d'une chaîne J, et éventuellement d'une pièce sécrétoire ; les chaînes lourdes et légères comprennent les domaines variables des chaînes lourdes et légères (VH et VL) d'un
20 anticorps monoclonal humain ou murin d'intérêt, fusionnés respectivement aux domaines constants CH1, CH2 et CH3 d'une chaîne lourde α , et C λ ou C κ d'une chaîne légère humaine, ou bien les domaines VH et VL sont fusionnés à un domaine CH3 incluant l'octapeptide C-terminal (Demandes Internationales PCT WO 98/30577 et PCT WO 99/54484). Par exemple, la Demande Internationale PCT WO 98/30577
25 décrit la production *in vitro* à l'aide d'un ou plusieurs baculovirus recombinants, de mini-IgA dimériques (IgA-J) recombinantes humaines comprenant les domaines VH et VL d'un anticorps monoclonal murin ou humain, chacun fusionné à un domaine CH3 incluant l'octapeptide C-terminal, associés par l'intermédiaire d'une chaîne J ; une seule mini-IgA recombinante dirigée contre la gp120 du VIH, obtenue à partir
30 d'un anticorps monoclonal humain neutralisant de classe IgG1 (anticorps S1-1), est décrite.

Ces méthodes, qui sont spécifiques des IgA, sont limitées aux anticorps murins et aux quelques rares anticorps humains pour lesquels des hybridomes ont été isolés.

* les méthodes *in vivo* reposent sur la production
5 d'immunoglobulines monoclonales humaines à partir de souris génétiquement modifiées possédant un transgène constitué par :

- le locus IgH complet et le locus de la chaîne légère kappa, dans leur configuration germinale, (Demande PCT WO 02/059154, Mendez et al., Nature Genetics, 1997, 15, 146-156 ; Green et Jakobovits, J. Exp. Med., 1998, 188, 483-495
10 et Demande de Brevet américain US n° 08/759,620),

- un mini-locus IgH comprenant un ou plusieurs gènes VH, DH et JH, le gène C μ et un second gène de la région constante, de préférence de la région C γ , et le locus de la chaîne légère kappa (Demande PCT WO 02/059154, Brevet américain US 5,545,807), et

15 - le locus IgH complet et le locus de la chaîne lambda dans sa configuration germinale (Demande de Brevet américain US n° 09/734,613). Lesdites souris sont éventuellement génétiquement invalidées pour le locus kappa endogène (souris κ -/-) et possèdent éventuellement une mutation qui inactive le locus IgH endogène (mutation μ MT -/-).

20 Ces méthodes ne permettent pas de produire de quantités importantes d'immunoglobulines humaines de classe IgA.

De manière surprenante, les Inventeurs ont construit des lignées de souris transgéniques qui produisent des quantités importantes d'immunoglobulines humanisées de classe IgA (de l'ordre du gramme par litre chez la souris). Les anticorps
25 produits par ces animaux sont majoritairement des IgA humanisées ; ils ne contiennent pas d'IgM et seulement de très faibles quantités des autres classes d'immunoglobulines (IgG et IgE).

En conséquence, l'invention a pour objet un mammifère non-humain transgénique, caractérisé en ce qu'il comprend un locus IgH modifié par remplacement
30 de la séquence de commutation S μ par tout ou partie d'un transgène constitué par le gène C α d'une immunoglobuline humaine de classe A, incluant au moins l'exon codant pour le domaine CH3 et l'exon de membrane.

Conformément à l'invention, le transgène C α ou la partie de ce transgène incluant au moins l'exon codant pour le domaine CH3 et l'exon de membrane, qui est inséré en lieu et place de la séquence de commutation S μ , est donc situé entre l'activateur intronique E μ , en 5' et le gène C μ en 3'(figure 1).

5 Dans cette construction, la suppression de la séquence de commutation S μ associée à l'insertion du transgène C α en lieu et place de cette séquence, abolit l'expression du gène μ endogène responsable de la synthèse de chaînes lourdes d'IgM. En outre, celle des autres gènes de chaînes lourdes d'immunoglobulines est fortement diminuée du fait du blocage de la commutation de classe vers les gènes
10 constants d'immunoglobulines situés en aval de C μ sur le locus IgH endogène. Ainsi, les animaux transgéniques obtenus produisent des quantités importantes d'IgA chimériques dont le domaine constant de la chaîne lourde est humanisé et les domaines variables sont d'origine murine.

La chaîne lourde transgénique α humaine bénéficie d'un répertoire
15 totalement diversifié puisque correspondant au répertoire normal généré par les réarrangements des segments VH, D et JH du locus IgH murin. En outre, les animaux transgéniques sont capables de produire des anticorps de forte affinité en réponse secondaire à l'antigène, du fait que leurs lymphocytes B peuvent recruter le phénomène d'hypermutation somatique.

20 Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit mammifère non-humain transgénique est homozygote pour ledit locus IgH modifié.

Selon un autre un mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit locus IgH est modifié par remplacement de la séquence de commutation S μ par la totalité du gène C α , incluant les exons CH1, CH2, CH3 et mb, séparés par les introns
25 correspondants.

Selon un autre un mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit locus IgH est modifié par remplacement de la séquence de commutation S μ , par le segment du gène C α incluant l'exon codant pour le domaine CH3 et l'exon de membrane.

30 Selon un autre un mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit gène C α est C α 1.

Selon encore un autre mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit mammifère non-humain transgénique comprend un autre transgène codant pour une chaîne légère d'immunoglobuline humaine.

Selon une disposition avantageuse de ce mode de réalisation, la dite
5 chaîne légère est une chaîne kappa.

De préférence, ledit transgène est un gène kappa humain comprenant l'activateur intronique E μ , en amont et le palindrome *hs3a/hs1,2/hs3b*, en aval. Ces séquences, qui sont décrites dans Chauveau et al., Gene, 1998, 222, 279-285, permettent d'obtenir une forte expression de la chaîne kappa humaine dans les cellules
10 B et d'induire l'hypermutation somatique du transgène kappa humain. De manière préférée, ledit transgène est sous le contrôle du promoteur de la chaîne lourde humaine (pVH).

Selon une autre disposition avantageuse de ce mode de réalisation, ledit mammifère non-humain transgénique est dizygote pour ledit transgène.

Selon une disposition avantageuse des modes de réalisation précédents de l'invention, lesdits mammifères non-humains transgéniques comprenant un autre transgène codant pour une chaîne légère kappa humaine possèdent un locus endogène de la chaîne légère kappa d'immunoglobulines inactivé (déléte ou muté), notamment par recombinaison homologue. De préférence, lesdits mammifères non-
20 humains transgéniques sont homozygotes pour ladite inactivation ; de manière préférée il s'agit de souris transgéniques. Parmi les mammifères non-humains transgéniques dont le locus endogène de la chaîne légère kappa d'immunoglobuline a été inactivé par recombinaison homologue, on peut citer notamment la lignée de souris décrite dans Zou et al., EMBO J., 1993, 12, 811-820.

De tels mammifères non-humains transgéniques produisent des IgA humanisés dont la quasi-totalité des chaîne légères sont d'origine humaine.

Selon une autre disposition avantageuse des modes de réalisation précédents de l'invention, lesdits mammifères non-humains transgéniques pour la chaîne lourde $\alpha 1$ et éventuellement pour la chaîne légère kappa humaine possèdent un
30 locus endogène de la chaîne J inactivé (déléte ou muté), notamment par recombinaison homologue. De préférence, lesdits mammifères non-humains transgéniques sont homozygotes pour ladite inactivation ; de manière préférée ils

comprennent un autre transgène codant pour une chaîne J humaine, de manière encore plus préférée il s'agit de souris transgéniques. De tels mammifères non-humains transgéniques sont humanisés à la fois pour la production d'IgA et pour une protéine qui s'associe aux IgA, la chaîne J.

5 L'invention englobe les animaux transgéniques issus de n'importe quelle espèce de mammifère.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de l'invention, ledit mammifère non-humain transgénique est une souris transgénique.

L'invention englobe notamment une lignée de souris double-trans-
10 génique, dénommée lignée HAMIGA pour « Humanized Antibodies Made Up Of Monoclonal Immunoglobulin A », comprenant :

- un locus IgH modifié par remplacement de la séquence de commutation S μ par le gène C α 1 d'une immunoglobuline humaine de classe A, et

- un gène V κ complet comprenant le gène V κ I réarrangé avec un
15 gène J κ 5, l'intron J κ -C κ et le gène C κ , sous le contrôle transcriptionnel du promoteur de la chaîne lourde humaine (pVH), de l'activateur intronique E μ en amont, et du palindrome *hs3a/hs1,2/hs3b* en aval.

Les animaux de cette lignée double-transgénique produisent des IgA partiellement humanisées pour la chaîne lourde et totalement humanisées pour ce qui
20 concerne la chaîne légère.

En effet, l'expression de la chaîne kappa transgénique dans cette lignée est capable d'entraîner l'exclusion allélique, c'est-à-dire d'empêcher dans la plupart des cellules B transgéniques, l'expression des gènes endogènes de chaînes légères d'immunoglobulines murines.

25 Le répertoire de réponse aux antigènes de cette lignée de souris est normal étant donné que c'est essentiellement le domaine VH de la chaîne lourde qui contribue à la formation du site anticorps. Or, la chaîne lourde transgénique α humaine bénéficie d'un répertoire totalement diversifié puisque correspondant au répertoire normal généré par les réarrangements des segments VH, D et JH du locus IgH murin,
30 comme précisé ci-dessus.

En outre, les souris de cette lignée transgénique sont capables de produire des anticorps de forte affinité en réponse secondaire à l'antigène, du fait que

leurs lymphocytes B peuvent recruter le phénomène d'hypermutation somatique, à la fois au niveau du gène de la chaîne lourde et du transgène de chaîne légère kappa.

Les animaux transgéniques selon l'invention sont obtenus par les procédés classiques de transgénèse animale, selon les protocoles standards tels que
5 décrits dans *Transgenic Mouse: Methods and Protocols ; Methods in Molecular Biology, Clifton, N.J., Volume. 209, Octobre 2002. Edité par : Marten H. Hofker, Jan Van Deursen, Martern H. Hofker et Jan Van Deursen. Publié par Holly T. Sklar : Humana Press.*

Les séquences des gènes humains et murins d'immunoglobulines qui
10 servent à la construction des animaux transgéniques selon l'invention sont connues et accessibles dans les bases de données. Par exemple, la séquence des exons CH1, CH2 et CH3 et de l'exon de membrane du gène C α 1 humain correspondent respectivement aux numéros d'accès J00220 et M60326 dans la base de données Genbank/EMBL.

La construction du gène V κ est telle que décrite dans Chauveau et
15 al., Gene, 1998, 222, 279-285 ; la séquence du gène V κ I réarrangé avec le gène J κ 5 et le gène C κ correspond à la séquence présentant le numéro d'accès X64133 dans la base de données EMBL/Genbank, qui code pour une chaîne légère humaine présentant la séquence correspondant au numéro d'accès CAA45494 dans la base de données EMBL.

20 Les insertions de fragments géniques dans le génome des mammifères non-humains peuvent être réalisées de façon aléatoire, de préférence elles sont réalisées de façon ciblée, par recombinaison homologue avec un vecteur de ciblage approprié comprenant éventuellement des séquences de recombinaison d'une recombinaison site-spécifique comme les sites LoxP de la recombinaison Cre. Les inacti-
25 vations ou délétions de fragments géniques dans le génome des mammifères non-humains sont réalisées par recombinaison homologue avec un vecteur de ciblage approprié comprenant éventuellement des séquences de recombinaison d'une recombinaison site-spécifique comme les sites LoxP de la recombinaison. Les animaux double-transgéniques sont obtenus par croisement d'animaux transgéniques pour la chaîne
30 lourde alpha avec des animaux transgéniques pour la chaîne légère, tels que définis ci-dessus. Les animaux double-transgéniques sont éventuellement croisés avec des animaux transgéniques dont le locus endogène de la chaîne légère kappa

d'immunoglobulines a été inactivé par recombinaison homologue et/ou avec des animaux dont le locus endogène de la chaîne J d'immunoglobulines a été inactivé et qui possèdent de surcroît un transgène J humain, tels que définis ci-dessus.

La présente invention a également pour objet un vecteur de ciblage
5 de recombinaison homologue, caractérisé en ce qu'il comprend le gène $C\alpha$ d'une immunoglobuline humaine de classe A ou un segment de ce gène incluant au moins l'exon codant pour le domaine CH3 et l'exon de membrane, flanqué des fragments de séquences du locus IgH d'un mammifère non-humain qui sont adjacents à la séquence $S\mu$.

10 Selon un mode de réalisation avantageux dudit vecteur de ciblage, il comprend une cassette d'expression d'un marqueur de sélection approprié, adjacente audit gène $C\alpha$ ou au segment dudit gène tel que défini ci-dessus.

Selon une disposition avantageuse de ce mode de réalisation, ladite cassette d'expression est flanquée de séquences de recombinaison site-spécifique. De
15 préférence, lesdites séquences sont les séquences LoxP de la recombinase Cre. Cette disposition permet éventuellement d'exciser ladite cassette d'expression.

Selon un autre mode de réalisation dudit vecteur de ciblage, lesdits fragments de séquences qui sont adjacents à la séquence $S\mu$ sont d'origine murine.

Selon un autre mode de réalisation dudit vecteur de ciblage, le gène
20 $C\alpha$ ou le segment dudit gène est flanqué en 5' d'un fragment d'environ 5 kb correspondant à la région JH/ $E\mu$ et en 3' d'un fragment d'environ 5 kb correspondant à la région $C\mu$, lesquels fragments correspondant respectivement aux positions 131281 à 136441 et 140101 à 145032 dans la séquence du chromosome 12 murin (numéro d'accès AC073553 dans la base de données EMBL/Genbank).

25 La présente invention a également pour objet des cellules embryonnaires d'un mammifère non-humain, modifiées par un vecteur de ciblage tel que défini ci-dessus.

Les dites cellules embryonnaires (cellules souches totipotentes) modifiées sont utiles pour l'obtention des mammifères transgéniques tels que définis
30 ci-dessus ; elles sont injectées dans des blastocystes de mammifère, selon les techniques classiques de transgénèse animale.

La présente invention a également pour objet, l'utilisation d'un mammifère non-humain transgénique tel que défini ci-dessus pour la production d'anticorps humanisés de classe IgA ou de fragments de ces anticorps.

La présente invention a également pour objet un procédé de préparation d'anticorps humanisés de classe IgA ou de fragments de ces anticorps, caractérisé en ce qu'il comprend au moins les étapes suivantes :

- l'immunisation d'un mammifère non-humain transgénique tel que défini ci-dessus avec un antigène d'intérêt,

- l'obtention par tout moyen approprié, d'anticorps humanisés de classe IgA ou de fragments de ces anticorps, à partir du sérum, des sécrétions ou des lymphocytes B dudit mammifère non-humain transgénique préalablement sacrifié.

Les mammifères non-humains transgéniques selon l'invention présentent l'avantage de permettre la production d'anticorps monoclonaux de classe IgA qui sont d'emblée des anticorps chimériques humanisés de classe IgA. Le procédé de production d'anticorps monoclonaux humanisés de classe IgA selon l'invention est donc plus simple, plus rapide et plus économique que les procédés de l'art antérieur puisqu'il ne nécessite pas d'étapes additionnelles de clonage des gènes desdits anticorps et de fusion des domaines variables desdits anticorps avec les domaines constants d'immunoglobulines humaines.

L'invention englobe la production d'anticorps polyclonaux ou monoclonaux constitués par des IgA monomériques, dimériques et des s-IgA, ainsi que de leurs fragments, notamment les fragments Fab, Fab'2 et Fc.

Les anticorps humanisés de classe IgA tels que définis ci-dessus et leurs fragments sont préparés par les techniques classiques connues de l'Homme du métier, telles que celles décrites dans *Antibodies : A Laboratory Manual*, E. Howell and D Lane, Cold Spring Harbor Laboratory, 1988.

De manière plus précise :

- les anticorps polyclonaux sont préparés par immunisation d'un mammifère non humain transgénique tel que défini ci-dessus avec un antigène d'intérêt, éventuellement couplé à la KLH ou à l'albumine et/ou associé à un adjuvant approprié tel que l'adjuvant de Freund (complet ou incomplet) ou l'hydroxyde d'alumine ; après obtention d'un titre en anticorps satisfaisant, les anticorps sont

récoltés par prélèvement du sérum des animaux immunisés et enrichis en IgA par précipitation, selon les techniques classiques, puis les IgA spécifiques sont éventuellement purifiées par chromatographie d'affinité sur une colonne appropriée sur laquelle est fixé l'antigène tel que défini ci-dessus, de façon à obtenir une préparation d'IgA monospécifiques.

- les anticorps monoclonaux sont produits à partir d'hybridomes obtenus par fusion de lymphocytes B d'un mammifère non-humain transgénique tel que défini ci-dessus avec des myélomes, selon la technique de Köhler et Milstein (Nature, 1975, 256, 495-497) ; les hybridomes sont cultivés *in vitro*, notamment dans des fermenteurs ou produits *in vivo*, sous forme d'ascite ; alternativement, lesdits anticorps monoclonaux sont produits par génie génétique comme décrit dans le brevet américain US 4,816,567. Par exemple, des mammifères non-humains transgéniques tels que défini ci-dessus sont immunisés de façon forte et répétée avec des antigènes choisis (antigènes de bactéries, de virus, de champignons, antigènes spécifiques de tumeurs tels que l'antigène carcino-embryonnaire, etc...), selon un protocole standard comprenant une première immunisation par injection intrapéritonéale de l'antigène dans un volume équivalent d'adjuvant complet de Freund puis une deuxième immunisation (rappel) 15 jours plus tard dans des conditions identiques mais avec cette fois de l'adjuvant incomplet de Freund. Les anticorps monoclonaux sont produits selon un protocole standard comprenant le sacrifice des animaux deux semaines après le dernier rappel, le prélèvement de la rate, la mise en suspension des lymphocytes spléniques et la fusion de ces lymphocytes avec la lignée cellulaire SP2/0 (cette lignée murine ne produit aucun anticorps murin, est immortalisée, et possède toute la machinerie de sécrétion nécessaire à la sécrétion d'immunoglobulines).

- les fragments d'anticorps sont produits à partir des régions V_H et V_L clonées, à partir des ARNm d'hybridomes ou de lymphocytes spléniques d'un mammifère non-humain transgénique selon l'invention, immunisé ; par exemple, les fragments Fv ou Fab sont exprimés à la surface de phages filamenteux selon la technique de Winter et Milstein (Nature, 1991, 349, 293-299) ; après plusieurs étapes de sélection, les fragments d'anticorps spécifiques de l'antigène sont isolés et exprimés dans un système d'expression approprié, par les techniques classiques de clonage et d'expression d'ADN recombinant.

Les anticorps ou leur fragments tels que définis ci-dessus, sont purifiés par les techniques classiques connues de l'Homme du métier, telles que la chromatographie d'affinité.

La présente invention a également pour objet, un anticorps humanisé
5 de classe IgA susceptible d'être obtenu par le procédé tel que défini ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend une chaîne lourde chimérique dont le(s) domaine(s) constant(s) sont d'origine humaine et une chaîne légère humaine dont le domaine variable est codé par V κ I-J κ 5.

L'invention englobe les anticorps humanisés de classe IgA dont la
10 chaîne légère est codée par le gène V κ I-J κ 5 présentant la séquence EMBL/Genbank X64133 ou une séquence produite par hypermutation de cette séquence, notamment après activation des lymphocytes B en présence de l'antigène.

La présente invention a également pour objet, un fragment d'un anticorps humanisé de classe IgA susceptible d'être obtenu par le procédé tel que défini
15 ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend un fragment desdites chaînes lourdes et légères telles que définies ci-dessus.

L'invention englobe les anticorps polyclonaux, les anticorps monoclonaux ainsi que leurs fragments (Fab, Fc, Fab'2).

Les anticorps humanisés selon l'invention et leurs fragments tels
20 que définis ci-dessus, sont bien tolérés chez l'Homme (minimisation du risque de réaction allergique par immunisation inter-espèce) et possèdent une demi-vie prolongée chez l'Homme, étant donné que la région constante de la chaîne lourde et la totalité de la chaîne légère de ces anticorps sont d'origine humaine.

La présente invention a également pour objet un médicament
25 comprenant un anticorps humanisé de classe IgA ou un fragment de cet anticorps, tels que définis ci-dessus ; un tel anticorps ou son fragment est notamment utilisé en immunothérapie passive (sérothérapie) pour la prévention et le traitement d'une maladie infectieuse ou du cancer.

La présente invention a également pour objet une composition
30 immunogène ou vaccinale, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un anticorps humanisé de classe IgA ou un fragment de cet anticorps, tels que définis ci-dessus, associé à un antigène, de préférence sous la forme d'un complexe antigène-anticorps

comprenant un anticorps humanisé de classe IgA ou un fragment de cet anticorps dirigé contre ledit antigène ; une telle composition permet à la fois de cibler l'antigène vers l'épithélium des muqueuses et de le protéger de la protéolyse.

La présente invention a également pour objet une composition
5 pharmaceutique, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un anticorps humanisé de classe IgA ou un fragment de cet anticorps, tels que définis ci-dessus, associé par tout moyen approprié à un principe actif ; une telle composition permet à la fois de cibler le principe actif vers l'épithélium des muqueuses et de le protéger de la protéolyse.

10 Selon un mode de réalisation avantageux des compositions selon l'invention, elles contiennent en outre, au moins un véhicule pharmaceutiquement acceptable et éventuellement des substances porteuses et/ou des adjuvants.

Les véhicules pharmaceutiquement acceptables, les substances porteuses et les adjuvants sont ceux classiquement utilisés.

15 Les adjuvants sont avantageusement choisis dans le groupe constitué par des émulsions huileuses, de la saponine, des substances minérales, des extraits bactériens, de l'hydroxyde d'alumine et le squalène.

Les substances porteuses sont avantageusement sélectionnées dans le groupe constitué par des liposomes unilamellaires, des liposomes multilamellaires,
20 des micelles de saponine ou des microsphères solides de nature saccharidique ou aurifère.

Les compositions selon l'invention, sont administrées par voie générale (orale, intramusculaire, sous-cutané, intra-péritonéale ou intraveineuse) ou par voie locale (oculaire, nasale, vaginale, rectale) ; la dose et le rythme
25 d'administration varient en fonction de l'espèce (humaine ou animale) et de la maladie à traiter.

La présente invention a également pour objet un réactif de diagnostic comprenant un anticorps humanisé de classe IgA ou un fragment de cet anticorps, tels que définis ci-dessus.

30 La présente invention a également pour objet l'utilisation d'un anticorps humanisé de classe IgA ou un fragment de cet anticorps, tels que définis ci-

dessus, pour la préparation d'un médicament destiné à la prévention et au traitement des maladies infectieuses et du cancer.

La présente invention a également pour objet l'utilisation d'un anticorps humanisé de classe IgA ou un fragment de cet anticorps, tels que définis ci-dessus, pour la préparation d'un réactif destiné au diagnostic des maladies infectieuses et du cancer.

Outre les dispositions qui précèdent, l'invention comprend encore d'autres dispositions qui ressortiront de la description qui va suivre, qui se réfère à des exemples d'obtention et d'utilisation des mammifères non-humains transgéniques selon la présente invention ainsi qu'aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 illustre la structure du locus IgH modifié obtenu par recombinaison homologue entre le locus IgH murin et le vecteur de ciblage dénommé p-alpha1KI, comprenant un fragment de 5,5 kb du gène alpha 1 humain incluant trois exons codant pour les domaines constants CH1, CH2 et CH3 et l'exon de membrane (mb) et une cassette néo bordée de sites LoxP (fragment de 1,6kb), flanqués en amont d'un fragment d'environ 5 kb correspondant à la région JH-E μ (fragment DQ 52/JH) et en aval d'un autre fragment d'environ 5 kb correspondant au gène C μ (fragment C μ).

- la figure 2 illustre la structure détaillée du vecteur de ciblage dénommé p-alpha1KI, comprenant : un fragment de 5,5 kb du gène alpha 1 humain incluant trois exons codant pour les domaines constants CH1, CH2 et CH3 et l'exon de membrane (mb) et une cassette néo bordée de sites LoxP (fragment de 1,6kb), flanqués en amont d'un fragment d'environ 5 kb correspondant à la région JH-E μ (fragment DQ 52/JH) et en aval d'un autre fragment d'environ 5 kb correspondant au gène C μ (fragment C μ).

- la figure 3 illustre la confirmation de la séquence du vecteur de ciblage p-alpha1KI par restriction enzymatique avec Xho I. λ H3 : marqueur de poids moléculaire. Pistes 3 et 4 : clones comprenant la cassette néo insérée dans la bonne orientation ; 5 fragments dont 2 co-migrent (5 kb et 5,3 kb) sont détectés : 6,4 kb (fragment CH2 + CH3 d' α 1-cassette néo), 5 kb (fragment C μ), 5,3 kb (fragment JH + fragment CH1 d' α 1) et 3,7 kb (fragment plasmidique + fragment 5' DQ52). Piste 5 :

clone comprenant la cassette néo insérée en orientation inverse ; 4 fragments sont détectés : 9,5 kb (fragment JH -fragment CH2 + CH3 d' α 1-cassette néo), 5 kb (fragment C μ), 3,7 kb (fragment plasmidique+ fragment 5' DQ52) et 2,4 kb (fragment CH1 d' α 1 + cassette néo).

5 - la figure 4 illustre le profil en Southern-blot d'un allèle recombinant, par comparaison avec un allèle sauvage ; l'ADN génomique digéré par Eco RI est hybridé avec une sonde située en 5' du gène δ .

 - la figure 5 illustre l'analyse par Southern-blot de l'ADN génomique des clones ES transfectés avec le vecteur de ciblage p-alpha1KI ; l'ADN
10 génomique digéré par Eco RI est hybridé avec une sonde correspondant à la région 5' du gène δ . La flèche indique un clone ayant intégré le transgène α 1 humain par recombinaison homologue (fragment de 7,5 kb correspondant à l'allèle recombinant et fragment de 12 kb correspondant à l'allèle sauvage).

 - la figure 6 illustre l'analyse par cytométrie de flux de l'expression
15 d'un récepteur membranaire de la classe des IgA humaines à la surface des lymphocytes périphériques des animaux homozygotes de la lignée transgénique alpha1KI. L'axe des abscisses représente le marquage avec un anticorps anti- α 1 humain marqué à la fluorescéine et l'axe des ordonnées représente le marquage avec un anticorps anti-CD19 murin marqué à la phyco-érythrine. Le rectangle en pointillé
20 indique les cellules exprimant à la fois CD19 (cellules B) et une chaîne lourde α 1 humaine.

 - la figure 7 illustre l'analyse en cytométrie de flux, de l'expression de la chaîne légère kappa humaine à la surface des lymphocytes B périphériques des souris de la lignée kappa ARN, par comparaison avec des souris non-transgéniques
25 (contrôle). L'axe des abscisses représente le marquage avec un anticorps anti-kappa humain marqué à la fluorescéine et l'axe des ordonnées représente le marquage avec un anticorps anti-kappa murin marqué à la phycoérythrine.

 - la figure 8 illustre l'hypermutation somatique du transgène kappa humain dans la lignée de souris transgéniques κ ARN ; la distribution des mutations le
30 long de la chaîne légère kappa humaine de 40 clones isolées à partir de cellules B activés par la PNA a été analysée. Les mutations générant une substitution d'acides

aminés, les mutations silencieuses et les mutations générant un codon stop sont indiquées respectivement par ■, □, et ▨ . Les acides aminés correspondant aux points d'hypermuation sont indiqués par leur nature et leur position, ainsi que par la position de la mutation dans le codon (en chiffre romain, entre parenthèse).

- 5 - la figure 9 illustre l'analyse en ELISA de la réponse en anticorps IgA1 chimériques humaines spécifiques, chez les souris doubles-transgéniques de la lignée HAMIGA immunisées avec l'antigène ovalbumine. Les résultats sont exprimés en unités arbitraires d'IgA anti-ovalbumine.

Exemple 1 : Obtention et caractérisation de la lignée transgénique alpha1KI
10 **(alpha1 Knock-In) exprimant une chaîne lourde alpha 1 d'immunoglobuline humaine, chimérique**

Le gène alpha 1 humain, incluant les trois exons codant pour les domaines constants CH1, CH2 et CH3 et l'exon de membrane (mb), a été inséré par recombinaison homologue, en lieu et place de la région de commutation S μ de la
15 chaîne lourde murine (S μ), de façon à bloquer la commutation de classe vers les gènes constants d'immunoglobulines situés en aval de C μ sur le locus endogène (locus IgH murin, figure 1). La région ciblée abolit l'expression du gène μ endogène responsable de la synthèse de chaînes lourdes d'IgM, et diminue fortement celle des autres gènes de chaînes lourdes d'immunoglobulines. En conséquence, la lignée transgénique obtenue produit une forte quantités d'IgA chimériques dont le domaine constant humanisé
20 correspond à l'isotype IgA1.

1) Construction du vecteur de ciblage de la recombinaison homologue

Les constructions plasmidiques ont été réalisées à partir du plasmide bluescript SK (pSK) (STRATAGENE) et de la souche bactérienne *E. coli*
25 TG1(STRATAGENE), en utilisant les protocoles classiques de préparation, de clonage et d'analyse de l'ADN tels que ceux décrits dans Current Protocols in Molecular Biology (Frederick M. AUSUBEL, 2000, Wiley and son Inc, Library of Congress, USA).

Le vecteur de recombinaison homologue ou vecteur de ciblage
30 dérivé de pSK, dénommé p-alpha1KI (figure 2), comprend : un fragment de 5,5 kb du gène alpha 1 humain incluant trois exons codant pour les domaines constants CH1, CH2 et CH3 et l'exon de membrane (mb) et une cassette néo (fragment de 1,6kb),

flanqué en amont d'un fragment d'environ 5 kb correspondant à la région JH-E μ (fragment DQ 52/JH) et en aval d'un autre fragment d'environ 5 kb correspondant au gène C μ (fragment C μ).

De manière plus précise, les différents fragments ont été insérés
5 dans le plasmide bluescript SK, selon les étapes suivantes :

Dans une première étape, le fragment C μ correspondant aux positions 140101 à 145032 du chromosome 12 murin (Genbank/EMBL AC073553) a été amplifié par PCR à l'aide d'amorces spécifiques appropriées puis cloné au site *Xho I* de pSK pour donner le plasmide pA.

10 Dans une seconde étape, le fragment DQ 52/JH correspondant aux positions 131281 à 136441 du chromosome 12 murin (Genbank/EMBL AC073553) a été amplifié par PCR à l'aide d'amorces spécifiques appropriées puis cloné en 5' du fragment C μ , entre les sites *EcoR V* et *Cla I* du plasmide pA, pour donner le plasmide pB.

15 Dans une troisième étape, la cassette néo décrite dans Pinaud et al., Immunity, 2001, 15, 187-199, a été insérée au site *Sal I* entre DQ52/JH et C μ , pour donner le plasmide pC.

Le fragment Sac I-Bam HI de 5,5 kb d'un plasmide recombinant comprenant la totalité du gène alpha 1 humain, incluant les séquences des exons CH1, CH2 et CH3 (Genbank/EMBL J00220) et de l'exon de membrane (Genbank/EMBL X64133) a été ligaturé à chacune de ses extrémités avec des adaptateurs *Cla I*.
20

Enfin, dans une dernière étape, le fragment de 5,5 kb flanqué d'adaptateurs *Cla I* ainsi obtenu a été inséré entre le fragment JH et la cassette néo au site *Cla I* du plasmide pC pour donner le vecteur de ciblage dénommé p-alpha1KI.

25 La séquence de p-alpha1KI a été vérifiée par séquençage automatique et par analyse de restriction avec les enzymes *Cla I* et *Xho I* (figure 3).

2) Transfection de cellules ES et injection dans des blastocystes

Les clones de cellules ES issues de la lignée 129/SJ ont été isolés, analysés puis injectés dans des blastocystes de souris C57/Black 6, en utilisant les
30 protocoles classiques de transgénèse et d'analyse de l'ADN génomique, tels que ceux décrits dans et dans Current Protocols in Molecular Biology (Frederick M. AUSUBEL, 2000, Wiley and son Inc, Library of Congress, USA).

De manière plus précise, des cellules ES ont été transfectées par électroporation de l'ADN de p-alpha1KI linéarisé au site *Not I*. Les clones sélectionnés en présence de généticine ont été prélevés et l'ADN génomique digéré par *EcoR I* a été analysé par Southern Blot à l'aide d'une sonde radioactive s'hybridant en dehors
 5 du site de recombinaison homologue, en 5' du gène constant Delta (δ) et de son site *EcoR I* (figure 4) ; cette sonde amplifiée par PCR à l'aide d'amorces spécifiques appropriées, correspond aux positions 140101 à 145032 de la séquence du chromosome 12 murin (EMBL/Genbank AC073553).

La présence d'un allèle recombinant est visualisée par un fragment
 10 d'environ 7,5 kb (représentant le fragment μ murin et la cassette néo) alors que l'allèle sauvage correspond à un fragment de 12 kb (figure 5). Dans ces conditions, sur 303 clones analysés, 4 se sont révélés positifs.

La vérification du caryotype de deux des quatre clones recombinants n'a montré aucune anomalie chromosomique (aneuploïdie).

15 Ces clones ont été injectés dans des blastocystes de souris C57/Black 6 en utilisant les protocoles classiques de transgénèse tels que ceux décrits dans *Transgenic Mouse: Methods and Protocols*, précité. Parmi les souris obtenues, celles présentant le degré de chimérisme le plus élevé ont été analysées par PCR et par ELISA. Une lignée de souris homozygotes pour le locus IgH recombiné, dénommée
 20 ci-après lignée alpha 1 *knock-in* ou *alpha1KI*, a ensuite été obtenue par croisement des animaux hétérozygotes présentant le degré de chimérisme le plus élevé.

3) Détection du locus IgH recombiné portant le gène C α 1 humain (allèle alpha 1 *knock-in* ou *alpha1KI*) et du locus IgH sauvage (allèle μ sauvage) par PCR

L'ADN génomique d'un échantillon de queue des animaux homo-
 25 zygotés obtenus comme précisé ci-dessus, a été analysé par PCR à l'aide des deux couples d'amorces suivants :

- couple spécifique du locus IgH murin non muté (allèle μ sauvage) :
- *amorce UpstreamSpe I Smu* : 5' GAG TAC CGT TGT CTG GGT CAC 3' (SEQ ID NO:1)
- 30 - *amorce SacI-3'Imu* : 5' GAG CTC TAT GAT TAT TGG TTA AC 3' (SEQ ID NO:2)

La réaction d'amplification a été réalisée avec une température d'hybridation de 61°C. Cette PCR amplifie en 30 cycles un fragment de 91 paires de bases-encadrant le site Spe I-spécifique du locus IgH murin non muté.

- couple spécifique du locus IgH recombiné portant le gène C α 1 humain (allèle alpha 1 *knock-in* ou *alpha1KI*) :
- amorce NeoI : 5' GCA TGA TCT GGA CGA AGA GCA T 3' (SEQ ID NO:3)
 - amorce Neo2 : 5' TCC CCT CAG AAG AAC TCG TCA A 3' (SEQ ID NO:4)

La réaction d'amplification a été réalisée avec une température d'hybridation de 55°C. Cette PCR amplifie en 30 cycles un fragment de 120 paires de bases spécifique du locus IgH recombiné portant le gène C α 1 humain (mutation alpha 1 *knock-in* ou *alpha1KI*).

Une lignée de souris homozygotes pour la mutation *alpha1KI*, dénommée ci-après lignée alpha 1 *knock-in* ou *alpha1KI* a été établie ; les animaux de cette lignée sont systématiquement et simultanément négatifs en PCR avec les amorces spécifiques de l'allèle μ sauvage et positifs en PCR avec les amorces spécifiques de l'allèle alpha 1 *knock-in*.

4) Dosage des IgA sériques totales en néphélobimétrie et en ELISA

a) néphélobimétrie

Les IgA sériques ont été dosées par néphélobimétrie sur un automate BNII™ (BEHRING) en utilisant le kit de dosage des IgA (BEHRING), selon les recommandations du fournisseur.

Le dosage des IgA sériques a donné des résultats totalement corrélés avec ceux du génotypage réalisé par PCR :

- les animaux contrôle non mutants ont un taux nul d'immunoglobulines humaines de classe IgA
- les animaux hétérozygotes α 1-KI ont également un taux indétectable d'IgA humaines et un taux normal d'IgM murines.
- les animaux homozygotes α 1-KI ont un taux significatif d'IgA humaines, ce taux variant entre 0,4 et 0,6 g/l dans le sérum. Par contre, les IgM murines sont indétectables dans le sérum de ces animaux.

b) ELISA

Les résultats obtenus en néphélométrie ont été confirmés en ELISA suivant les étapes suivantes : des plaques à 96 puits (Maxisorb™, NUNC) ont été recouvertes, soit d'anticorps non marqué anti-IgA humaines, soit d'anticorps non
5 marqué anti-IgM murines, par incubation une nuit à + 4° C en présence de Fab'2 de chèvre anti-IgA humaines ou anti-IgM murines (Southern Biotechnologies Associates), dilués au 1/500^{ème} en tampon carbonate 0,1 M, pH 8,3 (100 microlitres/puits). Après 3 lavages avec du tampon PBS contenant 0,1 % de Tween (PBS-Tween 0,1%), les plaques ont été saturées en présence de PBS contenant 10 %
10 de sérum de veau foetal (100 microlitres/puits). Après 3 lavages avec du tampon PBS-Tween 0,1%, les sérums à tester, dilués au 1/100^{ème} et au 1/500^{ème} en tampon PBS contenant 10% sérum de veau foetal ont été ajoutés (100 microlitres/puits) et les plaques ont été incubées 3 heures à 37°C. Après 3 lavages avec du tampon PBS-Tween 0,1%, un antisérum anti-IgA humaines marqué à la phosphatase alcaline ou un
15 sérum anti-IgM murines marqué à la phosphatase alcaline (Biosys) dilués au 1/1000^{ème} dans du PBS-Tween 0,1% (100 microlitres/puits) ont été ajoutés et les plaques ont été incubées 1 heure à 37°C. Après 3 lavages avec du tampon PBS-Tween 0,1%, les IgA et les IgM fixées ont été révélées par addition de substrat de la phosphatase alcaline (p-nitrophenylphosphate, SIGMA) à 1 mg/ml en tampon Tris
20 0,2M, pH 7,0. La réaction a été bloquée par addition de soude 0,5N (50 microlitres/puits) puis l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 405 nm.

Les données quantitatives sont obtenues par extrapolation avec une gamme d'un sérum étalon (BEHRING) pour le dosage des IgA humaines, et d'une IgM monoclonale murine (SOUTHERN BIOTECHNOLOGIES ASSOCIATES) pour
25 le dosage des IgM murines.

Le dosage des IgA sériques en ELISA montre une différence significative entre les homozygotes et les hétérozygotes ; les sérums d'homozygotes contiennent 0,4 et 0,6 g/l d'IgA1, alors que des valeurs d'absorbance nulles ou très faibles sont observées pour les sérums d'hétérozygotes même à la dilution la plus
30 faible (au 1/100^{ème}). A l'inverse lorsque les IgM murines sont dosées en ELISA, on observe un taux normal d'IgM murines (de l'ordre de 1 g/l) chez les souris contrôles « non mutantes » de même que chez les animaux hétérozygotes pour la mutation $\alpha 1$ -

KI. Par contre, le taux des IgM murines est nul chez les animaux homozygotes pour la mutation $\alpha 1$ -KI.

5) Recherche de l'expression d'un récepteur membranaire de la classe des IgA humaines à la surface des lymphocytes périphériques des animaux mutants

5 Les animaux homozygotes porteurs de la mutation $\alpha 1$ -KI ont été phénotypés en cytométrie de flux, par double marquage à l'aide d'anticorps spécifiques d'IgA1 humaine ou d'IgM murines marqués à la fluorescéine, et d'anticorps spécifiques des cellules B (anticorps anti-CD19) marqués à la phycoérythrine. De manière plus précise :

10 - Préparation des cellules lymphoïdes : deux organes lymphoïdes périphériques : la rate et les plaques de Peyer, ont été prélevés séparément chez les animaux mutants homozygotes $\alpha 1$ KI, dilacérés en tampon versène (Invitrogen), et filtrés sur tamis (40 microns) afin d'obtenir une suspension de cellules individuelles débarrassée des agrégats cellulaires. Les cellules spléniques ont alors été centrifugées
15 et soumises à une étape supplémentaire de choc osmotique afin de lyser les globules rouges par remise en suspension du culot cellulaire dans 1 ml d'eau distillée. Les cellules des échantillons ont ensuite été immédiatement remises en suspension dans du milieu complet (RPMI + 10% sérum de veau fœtal), dénombrées et conservées sur de la glace.

20 - Marquage à l'aide d'anticorps fluorescents : 10^5 cellules de chaque échantillon ont été incubées pendant 30 minutes à 4° C avec une dilution au 1/100^{ème}, soit d'un anticorps anti-IgM de souris marqué à l'isothiocyanate de fluorescéine (Southern Biotechnologies), soit d'un anticorps anti-IgA humaines marqué à l'isothiocyanate de fluorescéine, ou bien avec la combinaison d'un des anticorps
25 précédents avec un anticorps spécifique des cellules B (anticorps anti-CD19) marqué à la phycoérythrine (double marquage). Les cellules ont ensuite été lavées dans 5 ml de PBS puis le surnageant a été décanté et les cellules ont été remises en suspension dans 100 microlitres de PBS, 0,5% BSA, 0,1 mM EDTA.

- Analyse en cytofluorimétrie : les cellules marquées ont été
30 analysées à l'aide d'un cytomètre de flux (COULTER XL™).

Les résultats de la cytométrie de flux sont en accord avec ceux du dosage des immunoglobulines sériques. Chez les animaux homozygotes de la lignée

alpha1-KI, aucune expression d'IgM murines n'est détectée, ni dans la rate, ni dans les plaques de Peyer.

Pourtant en l'absence d'expression d'IgM, un compartiment de cellules B périphériques CD19+ est capable de se différencier chez ces animaux et représente 10 à 12 % des lymphocytes spléniques ou 40 à 60% des lymphocytes des plaques de Peyer. Ce compartiment exprime des IgA membranaires dont la chaîne lourde humanisée est reconnue par un anticorps spécifique des IgA1 et marqué à la fluorescéine (figure 6).

Exemple 2 : Obtention et caractérisation de la lignée transgénique κ ARN exprimant une chaîne légère kappa d'immunoglobuline humaine

Une lignée d'animaux transgéniques exprimant dans toutes leurs cellules B, une chaîne légère kappa humaine codée par la région variable V κ I-J κ 5 et la région C κ (chaîne kappa ARN, EMBL/Genbank X64133), a été obtenue par transgénèse directe, à partir du vecteur d'expression décrit dans Chauveau et al, Gene, 1998, 222, 279-285.

1) Construction du vecteur de transgénèse

Le vecteur de transgénèse est le plasmide pALIE μ décrit dans Chauveau et al, Gene, 1998, 222, 279-285 ; il contient à la fois le promoteur VH et l'enhancer E μ en 5' de la cassette codant pour la chaîne kappa ARN, et en 3' de cette cassette : les trois enhancer hs3a, hs12 et hs3b, situés en 3' du locus IgH en 3'. La séquence codante correspond à la chaîne V κ I-J κ 5-C κ (Genbank/EMBL X64133). Le plasmide pALIE μ a été linéarisé par les enzymes de restriction *Not I* et *Pvu I* qui coupent à l'intérieur de la séquence plasmidique, *Not I* étant situé en amont du promoteur qui précède le segment V κ cloné et *Pvu I* étant situé au sein du gène de résistance à l'ampicilline porté par le plasmide. Le fragment incluant l'ensemble de la cassette d'expression kappa flanquée de tous les éléments promoteurs et régulateurs de l'expression a ensuite été inséré de façon aléatoire dans des blastocystes de souris en utilisant les protocoles classiques de transgénèse directe tels que ceux décrits dans *Transgenic Mouse: Methods and Protocols*, précité.

2) Identification des animaux fondateurs de la lignée κ ARN et typage de leur descendance

Une lignée de souris transgénique possédant le transgène κ ARN a été obtenue après injection du vecteur d'expression ; la présence de ce transgène humain a été vérifiée sur l'ADN des souris par Southern blot à l'aide d'une sonde spécifique de la région C κ humaine (fragment *EcoRI-EcoRI* de 2,5 kb incluant la totalité de l'exon C κ humain). Les animaux portant l'insertion du transgène sur les deux allèles du point d'insertion (animaux homozygotes) ont une quantité double du transgène et peuvent être distingués par le Southern blot des animaux portant une seule copie du transgène (animaux hétérozygotes). Alternativement, la présence du transgène a été détectée par PCR à l'aide d'amorces permettant d'amplifier spécifiquement la séquence humaine V κ I-J κ 5-C κ (Genbank/EMBL X64133).

3) Recherche de l'expression des chaînes légères kappa humaines à la surface des lymphocytes périphériques des souris de la lignée kappa ARN

Les animaux dizygotes porteurs du transgène kappa ARN ont été phénotypés en cytométrie de flux, par double marquage à l'aide d'un anticorps anti- κ murin (marqué à la phycoérythrine) en conjonction avec un anticorps anti- κ humain (marqué à l'isothiocyanate de fluorescéine), selon le protocole tel que décrit à l'exemple 1.

Ces animaux montrent une expression du transgène κ humain sur la majorité des cellules B (figure 7). De plus le transgène induit un phénomène d'exclusion allélique tel que les cellules B exprimant le transgène κ humain n'expriment pas de gène endogène de chaînes légères de souris. En cytométrie, ces cellules sont donc positives lors du marquage avec l'antisérum anti-chaînes κ humaines et négatives avec l'antisérum anti chaînes κ murines (figure 7).

4) Analyse de l'hypermutation somatique du transgène κ chez les souris de la lignée kappa ARN

Il a également été montré que cette chaîne légère κ humaine est capable de s'associer avec des chaînes lourdes et de se diversifier grâce au phénomène d'hypermuation somatique (déclenché par une réponse à l'antigène). Ce transgène respectant l'architecture endogène d'un gène κ avec présence de l'intron J κ -C κ entre

- le V κ J κ et le C κ , bénéficie en outre d'une expression forte assurée par la combinaison promoteur P_{VH} / enhancer E μ + palindrome régulateur 3'IgH (hs3a, hs1,2, hs3b). L'action cumulative de tous ces éléments régulateurs permet de recruter la machinerie d'hypermutation somatique au niveau du transgène. De manière plus précise, les
- 5 plaques de Peyer des souris transgéniques sont prélevées par dissection de l'intestin. La suspension cellulaire est préparée en broyant les plaques de Peyer à travers une membrane de nylon. Les cellules sont lavées trois fois à + 4° C, dans du DMEM contenant 10 % de sérum de veau fœtal. Les cellules mortes ont été éliminées après chaque lavage et la suspension cellulaire a été ajustée à 10⁶ cellules/ml.
- 10 Les cellules ont été incubées 30 min à + 4° C en présence d'anticorps anti-B220 biotinylé. Après deux lavages avec du DMEM contenant 5 % de sérum de veau fœtal, les cellules ont été incubées 30 min à + 4° C en présence de streptavidine couplée à la phycoérythrine, puis lavées et remises en suspension dans du PBS contenant 5 % de sérum de veau fœtal. Après addition d'une lectine spéci-
- 15 fique des cellules B activées (PNA pour *peanut agglutinin*) conjuguée à la FITC, la suspension cellulaire a été incubée 30 min à + 4° C. Après deux lavages avec du DMEM, les cellules ont été remises en suspension dans du DMEM puis elles B ont ensuite été triées, par cytométrie en flux, en deux populations : B220⁺PNA^{high} (B activées) et B220⁺PNA^{low} (B au repos).
- 20 L'ADN génomique a été extrait des deux populations cellulaires triées à l'aide du kit QIAamp Tissue (QIAGEN). Une amplification par réaction de polymérisation en chaîne (PCR) a été réalisée sur 2 μ l d'ADN génomique en utilisant des amorces correspondant à la région signal du V κ 1 humain (5'-AAGTCGACATGGACATGAGGGTGCC-3') (SEQ ID NO:5) et au début de la
- 25 région J κ 5 humaine (5'-TTCTCGAGACTTAGGTTTAATCTCCAG-3') (SEQ ID NO:6). Le programme d'amplification consistait en : une étape initiale de dénaturation à 94°C pendant 5 min; suivi de 35 cycles alternant une étape de dénaturation à 94°C pendant 30 s, une étape d'hybridation à 52°C pendant 30 s, et une étape d'élongation à 72°C pendant 30 s; puis une étape finale d'élongation à 72°C pendant 7 min.
- 30 Le produit d'amplification a été purifié sur gel d'agarose à 1, 2%, élué (kit QIAquick Gel Extraction, QIAGEN) puis cloné dans le vecteur pCRII-TOPO (INVITROGEN). Les clones recombinants ont été testés par restriction enzymatique

puis purifiés (kit Flexiprep, PHARMACIA) et séquencés par la méthode de Sanger. Les réactions de séquençage ont été réalisées par PCR à l'aide des amorces M13 reverse et M13(-20) et de didésoxynucléotides fluorescents puis analysées par électrophorèse capillaire sur séquenceur automatique (ABI-PRISM 310, PERKIN-ELMER).

- 5 Les séquences obtenues à partir des cellules B activées ont ensuite été alignées avec la séquence originale du transgène non muté (Genbank/EMBL X64133). Le nombre et la position des mutations ont été analysés (figure 8).

Le transgène κ subit cette hypermutation somatique à un taux pratiquement aussi élevé (17 mutations pour 1000 bases) que les gènes d'immunoglobulines endogènes
10 (qui mutent à un taux de 40 mutations pour 1000 bases). Ce transgène unique est donc capable de générer un « répertoire » kappa possédant une certaine diversité.

Exemple 3 : Obtention et caractérisation de la lignée double-transgénique HAMIGA exprimant une chaîne lourde alpha 1 chimérique et une chaîne légère kappa d'immunoglobulines humaines.

- 15 Le croisement des lignées κ ARN et alpha1-KI décrites aux exemples précédents, génère des souris doubles transgéniques κ ARN / alpha1-KI.

Pour ce faire, les animaux homozygotes pour la mutation alpha1-KI et homozygotes pour le transgène κ ARN ont été croisés entre eux. En première génération (F1) après ce croisement, tous les animaux obtenus sont hétérozygotes pour la
20 mutation alpha1-KI et hétérozygotes pour le transgène κ ARN. Ces animaux F1 ont donc été à nouveau croisés : à la génération suivante (F2) les lois de la génétique Mendélienne permettent d'obtenir 1 animal sur 4 homozygote pour la mutation alpha1-KI et un animal sur 4 homozygote pour le transgène κ ARN. Parmi ces animaux F2, un animal sur 16 a donc pu être sélectionné comme portant à la fois la
25 mutation alpha1-KI à l'état homozygote et comme portant le transgène κ ARN à l'état homozygote. Ces animaux sont les fondateurs de la lignée HAMIGA et ils transmettent de façon stable à leur descendance les gènes permettant simultanément la production d'une chaîne lourde alpha1 humanisée en remplacement de la production d'IgM murines ainsi que la production et la diversification par hypermutation d'une
30 chaîne κ humaine.

Cette lignée de souris doubles transgéniques est dénommée lignée HAMIGA pour « *Humanized Antibodies Made Up Of Monoclonal Immunoglobulin A* ».

1) Obtention de la lignée double-transgénique HAMIGA

5 a) présence du transgène κ

La transmission du transgène κ ARN au cours des croisement d'animaux transgéniques a été suivie par Southern Blot à l'aide d'une sonde spécifique de la région C κ humaine (fragment e *EcoRI-EcoRI* de 2,5 kb incluant la totalité de l'exon C κ humain).

10 L'expression du transgène κ chez les animaux mutants a été détectée par dosage en ELISA de chaînes kappa libres humaines éliminées dans les urines des animaux. De manière plus, précise : des plaques à 96 puits (Maxisorb®, NUNC) ont été incubées une nuit à + 4° C en présence d'un anticorps non marqué anti- κ humain (Kallestad) dilué au 1/1000^{ème} en tampon carbonate 0,1 M pH 8,3 (100
15 microlitres/puits). Après 3 lavages avec du tampon PBS contenant 0,1 % de Tween (PBS-Tween 0,1%), les plaques ont été saturées en présence de PBS contenant 10% sérum de veau fœtal (100 microlitres/puits). Après 3 lavages avec du tampon PBS-Tween 0,1%, les échantillons d'urine à tester, dilués au 1/100^{ème} et au 1/500^{ème} en tampon PBS contenant 10% de sérum de veau fœtal ont été ajoutés (100
20 microlitres/puits) et les plaques ont été incubées 3 heures à 37°C. Après 3 lavages avec du tampon PBS-Tween 0,1%, un antisérum anti- κ humain marqué à la phosphatase alcaline (SIGMA) dilué au 1/1000^{ème} dans du PBS-Tween 0,1% (100 microlitres/puits) a été ajouté et les plaques ont été incubées 1 heure à 37°C. Après 3
25 lavages avec du tampon PBS-Tween 0,1%, les chaînes légères kappa humaines fixées ont été révélées par addition de substrat de la phosphatase alcaline (p-nitrophényl-phosphate, SIGMA) à 1 mg/ml en tampon Tris 0,2M, pH 7,0. La réaction a été bloquée par addition de soude 0,5N (50 microlitres/puits) puis l'absorbtion a été mesurée à une longueur d'onde de 405 nm.

Alternativement, l'expression du transgène kappa humain a été
30 analysée par cytométrie de flux comme décrit à l'exmple 2. Les résultats montrent que la présence du transgène κ ARN entraîne un phénomène important d'exclusion

allélique, tel que parmi les lymphocytes périphériques plus de 50 % expriment la chaîne légère humaine et ne réarrangent donc pas les gènes de chaîne légères murines pour exprimer une chaîne légère murine.

b) homozygotie pour la mutation $\alpha 1$ -KI

5 Le premier élément simple indiquant l'homozygotie $\alpha 1$ -KI est la présence d'un taux élevé d'IgA1 humaines dans le sérum des animaux. En outre l'homozygotie a été confirmée en PCR par la positivité de la « PCR $\alpha 1$ -KI » associée à la négativité de la « PCR allèle μ sauvage ». Enfin, après sacrifice des animaux, l'analyse en cytométrie de flux a permis de montrer sur les lymphocytes de la rate et
10 des plaques de Peyer que la totalité des lymphocytes B (CD19+) expriment des IgA1 humaines membranaire alors qu'en parallèle aucune cellule B n'exprime d'IgM murine.

c) Vérification de la présence simultanée de la mutation $\alpha 1$ -KI et du transgène κ ARN chez les animaux HAMIGA et leur descendance.

15 Les animaux double-transgéniques HAMIGA ont été caractérisés comme ceux répondant simultanément aux deux spécificités décrites ci-dessus : présence du transgène κ ARN à l'état homozygote et homozygotie pour la mutation $\alpha 1$ -KI. De plus, ces animaux se reproduisent en préservant ces deux spécificités et le phénotype de leur descendance possède les propriétés suivantes, simultanément et
20 de façon stable :

- la production d'IgA1 humanisée à un taux conséquent (facilement vérifiable par ELISA ou néphélométrie sur un simple prélèvement de sang réalisé chez les animaux vivants au niveau du sinus rétro-orbitaire)

- la production de chaîne légère κ humaine (facilement vérifiable par
25 ELISA sur un simple prélèvement d'urines réalisé chez les animaux vivants).

2) Immunisation des animaux

Les animaux ont été immunisés une première fois par injection intra-péritonéale de 10 microgrammes d'ovalbumine (SIGMA) diluée dans 100 microlitres de sérum physiologique et mise en émulsion avec 200 microlitres d'adjuvant complet
30 de Freund (SIGMA).

Après 4 semaines, les animaux ont subi un rappel vaccinal par injection intra-péritonéale de 10 microgrammes d'ovalbumine (SIGMA) diluée dans 100 microlitres de sérum physiologique et mise en émulsion avec 200 microlitres d'adjuvant incomplet de Freund (SIGMA).

5 **3) Dosage des anticorps spécifiques de l'antigène vaccinal (ovalbumine)**

La présence d'anticorps spécifiques de l'antigène vaccinal ovalbumine a été analysée en ELISA, 4 semaines, puis 7 semaines après la deuxième injection de l'antigène, en suivant la technique suivante : des plaques à 96 puits (Maxisorb®, NUNC) ont été incubées une nuit à + 4° C en présence d'ovalbumine à
10 la concentration de 10 microgrammes/ml en tampon carbonate 0,1 M pH 8,3 (100 microlitres/puits). Après 3 lavages avec du tampon PBS contenant 0,1 % de Tween (PBS-Tween 0,1%), les plaques ont été saturées en présence de PBS contenant 10% de sérum de veau fœtal (100 microlitres/puits). Après 3 lavages avec du tampon PBS-Tween 0,1%, les échantillons de sérum à tester, dilués au 1/20^{ème} et au 1/100^{ème} en
15 tampon PBS contenant 10% de sérum de veau fœtal ont été ajoutés (100 microlitres/puits) et les plaques ont été incubées 3 heures à 37°C. Après 3 lavages avec du tampon PBS-Tween 0,1%, un antisérum anti-IgA humaines marqué à la phosphatase alcaline (BIOSYS) dilué au 1/1000^{ème} dans du PBS-Tween 0,1% (100 microlitres/puits) a été ajouté et les plaques ont été incubées 1 heure à 37°C. Après 3
20 lavages avec du tampon PBS-Tween 0,1%, les chaînes légères kappa humaines fixées ont été révélées par addition de substrat de la phosphatase alcaline (p-nitrophenyl-phosphate, SIGMA) à 1 mg/ml en tampon Tris 0,2M, pH 7,0. La réaction a été bloquée par addition de soude 0,5N (50 microlitres/puits) puis l'absorbtion a été mesurée à une longueur d'onde de 405 nm. Le taux d'anticorps IgA anti-ovalbumine a
25 été exprimé en unités arbitraires établies pour les sérums dilués au 1/100^{ème} en fonction du rapport Densité optique sérum testé / Densité optrique du sérum témoin.

Les résultats présentés à la figure 9 montrent la présence d'anticorps spécifiques de l'antigène vaccinal ovalbumine 4 semaines (taux des anticorps IgA1 humaines anti-ovalbumine à 388 unités), puis 7 semaines après la deuxième injection
30 de l'antigène (taux des anticorps IgA anti-ovalbumine à 162 unités). En parallèle, il a également été verifié qu'en l'absence d'immunisation des animaux, le taux des anticorps IgA anti-ovalbumine détectés restait inférieur à 30 unités.

Le répertoire de réponse aux antigènes de ces souris est attendu comme subnormal puisqu'on sait que c'est essentiellement le domaine VH de la chaîne lourde qui contribue à la formation du site anticorps (or la chaîne lourde transgénique $\alpha 1$ humaine bénéficie d'un répertoire totalement diversifié puisque
5 correspondant au répertoire normal généré par les réarrangements des segments VH, D et JH du locus IgH murin.). Ces souris sont capables de produire des anticorps de forte affinité en réponse secondaire, ce qui résulte du fait que leurs lymphocytes B peuvent recruter le phénomène d'hypermutation somatique à la fois au niveau du gène de chaîne lourde et du transgène de chaîne légère κ *ARN*.

10 Ainsi que cela ressort de ce qui précède, l'invention ne se limite nullement à ceux de ses modes de mise en œuvre, de réalisation et d'application qui viennent d'être décrits de façon plus explicite ; elle en embrasse au contraire toutes les variantes qui peuvent venir à l'esprit du technicien en la matière, sans s'écarter du cadre, ni de la portée, de la présente invention.

REVENDICATIONS

1°) Mammifère non-humain transgénique, caractérisé en ce qu'il comprend un locus IgH modifié par remplacement de la séquence de commutation S μ par tout ou partie d'un transgène constitué par le gène C α d'une immunoglobuline humaine de classe A incluant au moins l'exon codant pour le domaine CH3 et l'exon de membrane.

2°) Mammifère non-humain transgénique selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est homozygote pour ledit locus IgH modifié.

3°) Mammifère non-humain transgénique selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que ledit locus IgH est modifié par remplacement de la séquence de commutation S μ , par la totalité du gène C α .

4°) Mammifère non-humain transgénique selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que ledit locus IgH est modifié par remplacement de la séquence de commutation S μ , par le segment du gène C α incluant l'exon codant pour le domaine CH3 et l'exon de membrane.

5°) Mammifère non-humain transgénique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit gène C α est C α 1.

6°) Mammifère non-humain transgénique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend un autre transgène codant pour une chaîne légère d'immunoglobuline humaine.

7°) Mammifère non-humain transgénique selon la revendication 6, caractérisé en ce que la dite chaîne légère est une chaîne kappa.

8°) Mammifère non-humain transgénique selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit transgène comprend l'activateur intronique E μ en amont et le palindrome *hs3a/hs1,2/hs3b* en aval.

9°) Mammifère non-humain transgénique selon la revendication 8, caractérisé en ce que ledit transgène est sous le contrôle du promoteur de la chaîne lourde d'immunoglobulines humaine.

10°) Mammifère non-humain transgénique selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce qu'il est dizygote pour ledit transgène.

11°) Mammifère non-humain transgénique selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, caractérisé en ce qu'il possède un locus endogène de la chaîne kappa inactivé.

12°) Mammifère non-humain transgénique selon la revendication 11,
5 caractérisé en ce qu'il est homozygote pour ledit locus endogène de la chaîne kappa inactivé.

13°) Mammifère non-humain transgénique selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il possède un gène codant pour la chaîne J inactivé.

14°) Mammifère non-humain transgénique selon la revendication 13,
10 caractérisé en ce qu'il est homozygote pour ledit gène codant pour la chaîne J inactivé.

15°) Mammifère non-humain transgénique selon la revendication 13 ou la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comprend un autre transgène codant pour une chaîne J d'immunoglobuline humaine.

16°) Mammifère non-humain transgénique selon une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'il s'agit d'une souris transgénique.

17°) Souris transgénique selon la revendication 16, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- un locus IgH modifié par remplacement de la séquence de
20 commutation S μ par tout le gène C α 1 d'une immunoglobuline humaine de classe A, et
- un gène V κ complet comprenant le gène V κ I réarrangé avec un gène J κ 5, l'intron J κ -C κ et le gène C κ , sous le contrôle transcriptionnel du promoteur de la chaîne lourde humaine (pVH) et de l'activateur intronique E μ en amont, et du palindrome *hs3a/hs1,2/hs3b* en aval.

18°) Vecteur de ciblage de recombinaison homologue, caractérisé en ce qu'il comprend le gène C α d'une immunoglobuline humaine de classe A ou un segment de ce gène incluant au moins l'exon codant pour le domaine CH3 et l'exon de membrane, flanqué des fragments de séquences du locus IgH d'un mammifère non-humain qui sont adjacents à la séquence S μ .

19°) Vecteur de ciblage selon la revendication 18, caractérisé en ce qu'il comprend une cassette d'expression d'un marqueur de sélection approprié, adjacent audit gène C α ou à un segment dudit gène.

20°) Vecteur de ciblage selon la revendication 19, caractérisé en ce que ladite cassette d'expression est flanquée de séquences de recombinaison site-spécifique.

21°) Vecteur de ciblage selon la revendication 19, caractérisé en ce que lesdites séquences sont les séquences LoxP de la recombinaise Cre.

22°) Vecteur de ciblage selon l'une quelconque des revendications 18 à 21, caractérisé en ce que lesdits fragments de séquences qui sont adjacents à la séquence S μ sont d'origine murine.

23°) Vecteur de ciblage selon la revendication 22, caractérisé en ce que le gène C α ou le segment dudit gène est flanqué, respectivement en 5' et en 3', des fragments correspondants aux positions 131281 à 136441 et 140101 à 145032 dans la séquence du chromosome 12 murin (numéro d'accès AC073553 dans la base de données EMBL/Genbank).

24°) Cellule embryonnaire de mammifère non-humain, modifiée par un vecteur de ciblage selon l'une quelconque des revendications 18 à 23.

25°) Utilisation d'un mammifère non-humain transgénique selon l'une quelconque des revendications 1 à 16 ou d'une souris transgénique selon la revendication 17, pour la production d'anticorps humanisés de classe IgA ou de fragments de ces anticorps.

26°) Procédé de préparation d'anticorps humanisés de classe IgA ou de fragments de ces anticorps, caractérisé en ce qu'il comprend au moins les étapes suivantes :

- l'immunisation d'un mammifère non-humain transgénique selon l'une quelconque des revendications 1 à 16 ou d'une souris transgénique selon la revendication 17, et

- l'obtention par tout moyen approprié, d'anticorps humanisés de classe IgA ou de fragments de ces anticorps, à partir du sérum, des sécrétions ou des lymphocytes B dudit mammifère non-humain transgénique préalablement sacrifié.

27°) Anticorps humanisé de classe IgA susceptible d'être obtenu par le procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce qu'il comprend une chaîne lourde chimérique dont les domaines constants sont d'origine humaine et une chaîne légère humaine dont le domaine variable est codé par V κ I-J κ 5.

28°) Fragment d'un anticorps humanisé de classe IgA selon la revendication 27, caractérisé en ce qu'il comprend un fragment desdites chaînes lourdes et légères.

5 29°) Fragment d'anticorps humanisé de classe IgA selon la revendication 28, caractérisé en ce qu'il est sélectionné dans le groupe constitué par les fragments Fab, Fab'2 et Fc.

30°) Médicament, caractérisé en ce qu'il comprend un anticorps humanisé de classe IgA selon la revendication 27 ou un fragment de cet anticorps selon la revendication 28 ou la revendication 29.

10 31°) Réactif de diagnostic, caractérisé en ce qu'il comprend un anticorps humanisé de classe IgA selon la revendication 27 ou un fragment de cet anticorps selon la revendication 28 ou la revendication 29.

32°) Composition immunogène ou vaccinale, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un anticorps humanisé de classe IgA selon la revendication 15 27 ou un fragment de cet anticorps selon la revendication 28 ou la revendication 29, associé à un antigène.

33°) Composition pharmaceutique, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un anticorps humanisé de classe IgA selon la revendication 27 ou un fragment de cet anticorps selon la revendication 28 ou la revendication 29, associé 20 par tout moyen approprié à un principe actif.

34°) Utilisation d'un anticorps humanisé de classe IgA selon la revendication 27 ou d'un fragment de cet anticorps selon la revendication 28 ou la revendication 29, pour la préparation d'un médicament destiné à la prévention et au traitement des maladies infectieuses et du cancer.

25 35°) Utilisation d'un anticorps humanisé de classe IgA selon la revendication 27 ou d'un fragment de cet anticorps selon la revendication 28 ou la revendication 29, pour la préparation d'un réactif destiné au diagnostic des maladies infectieuses et du cancer.

1/8

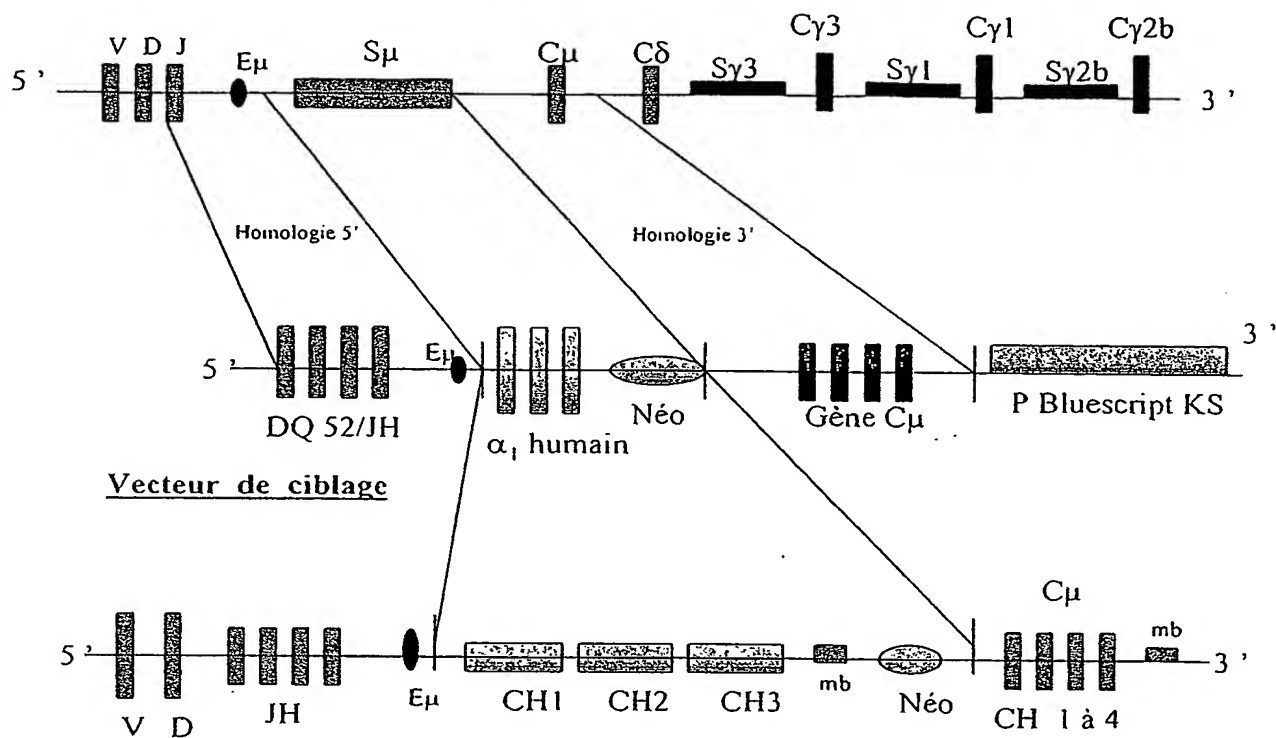
Locus IgH endogène chez la sourisLocus murin après recombinaison homologue

Figure 1

2/8

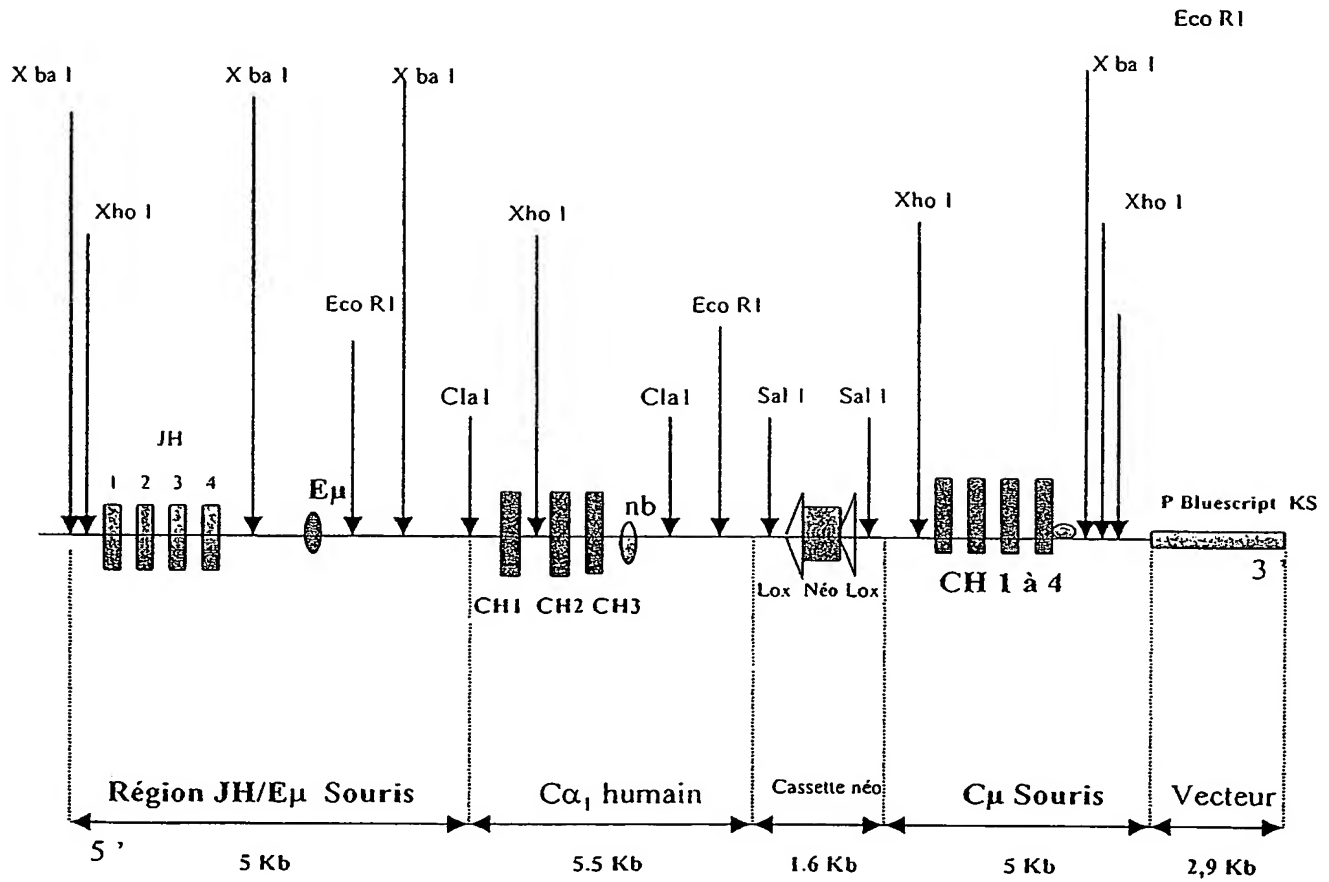


Figure 2

3/8

BEST AVAILABLE COPY

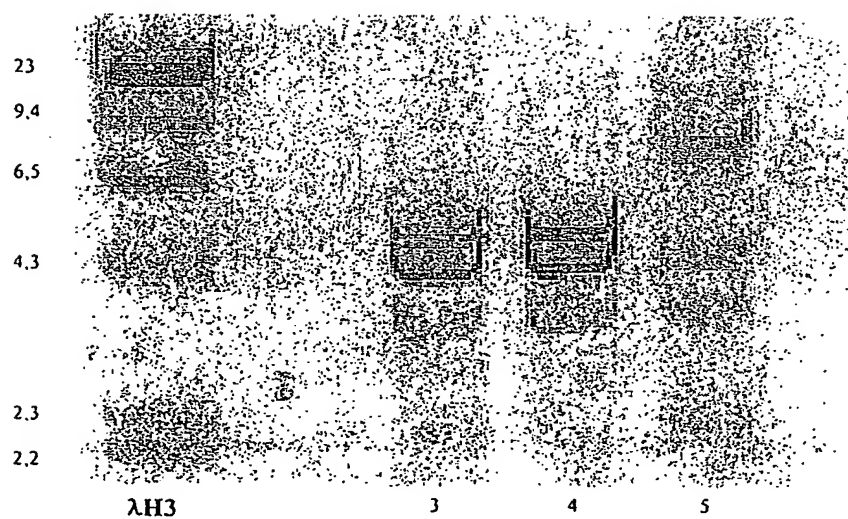


Figure 3

4/8

BEST AVAILABLE COPY

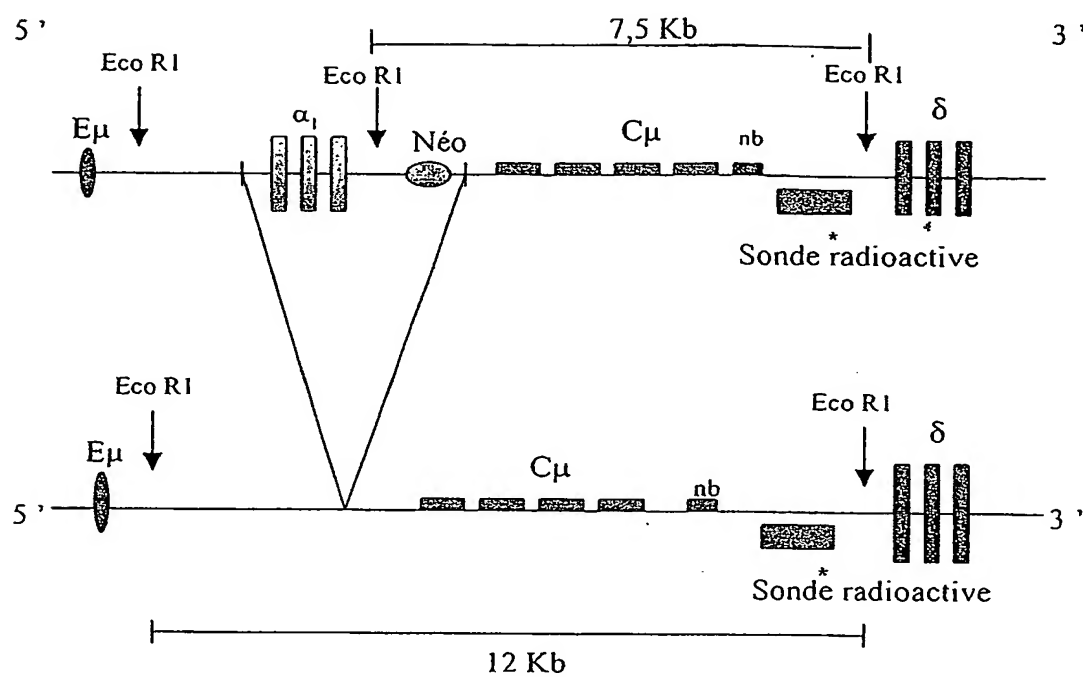


Figure 4

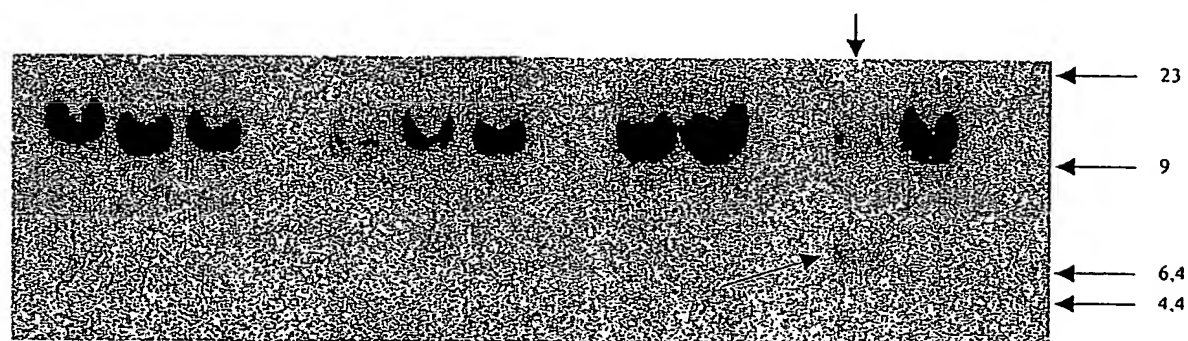


Figure 5

5/8

BEST AVAILABLE COPY

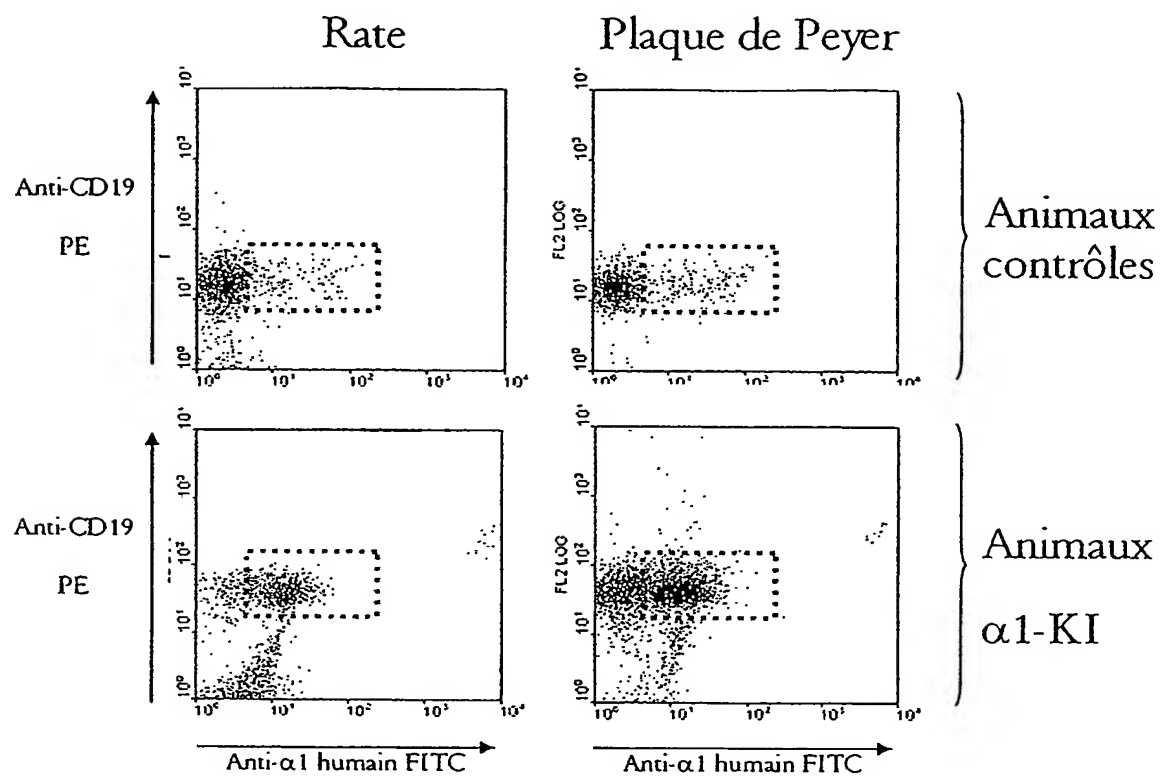


Figure 6

6/8

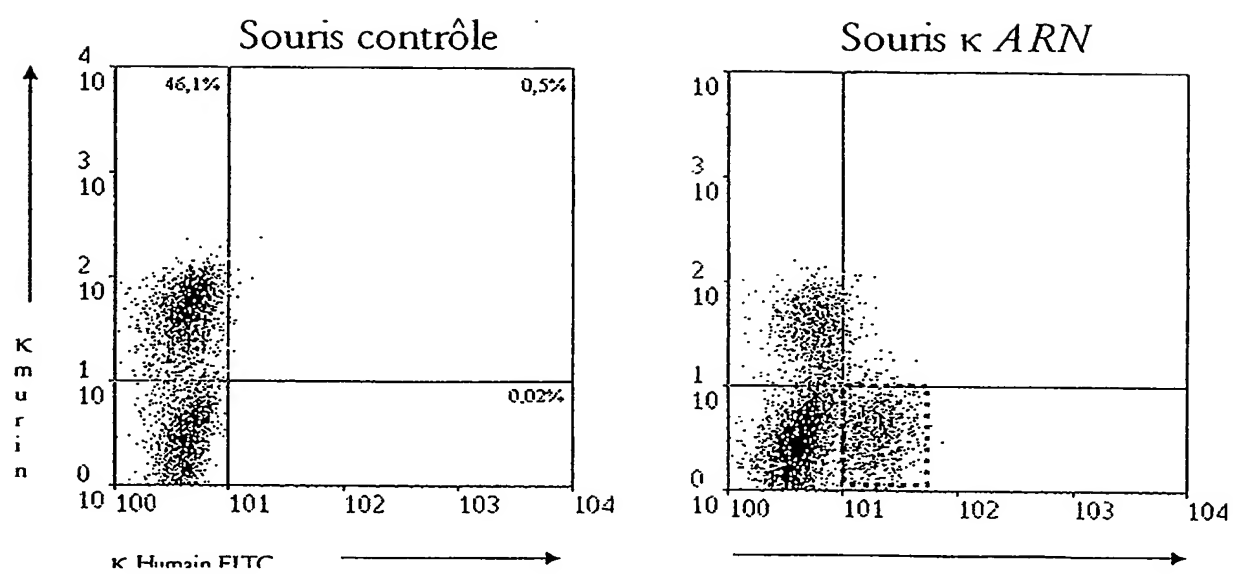


Figure 7

7/8

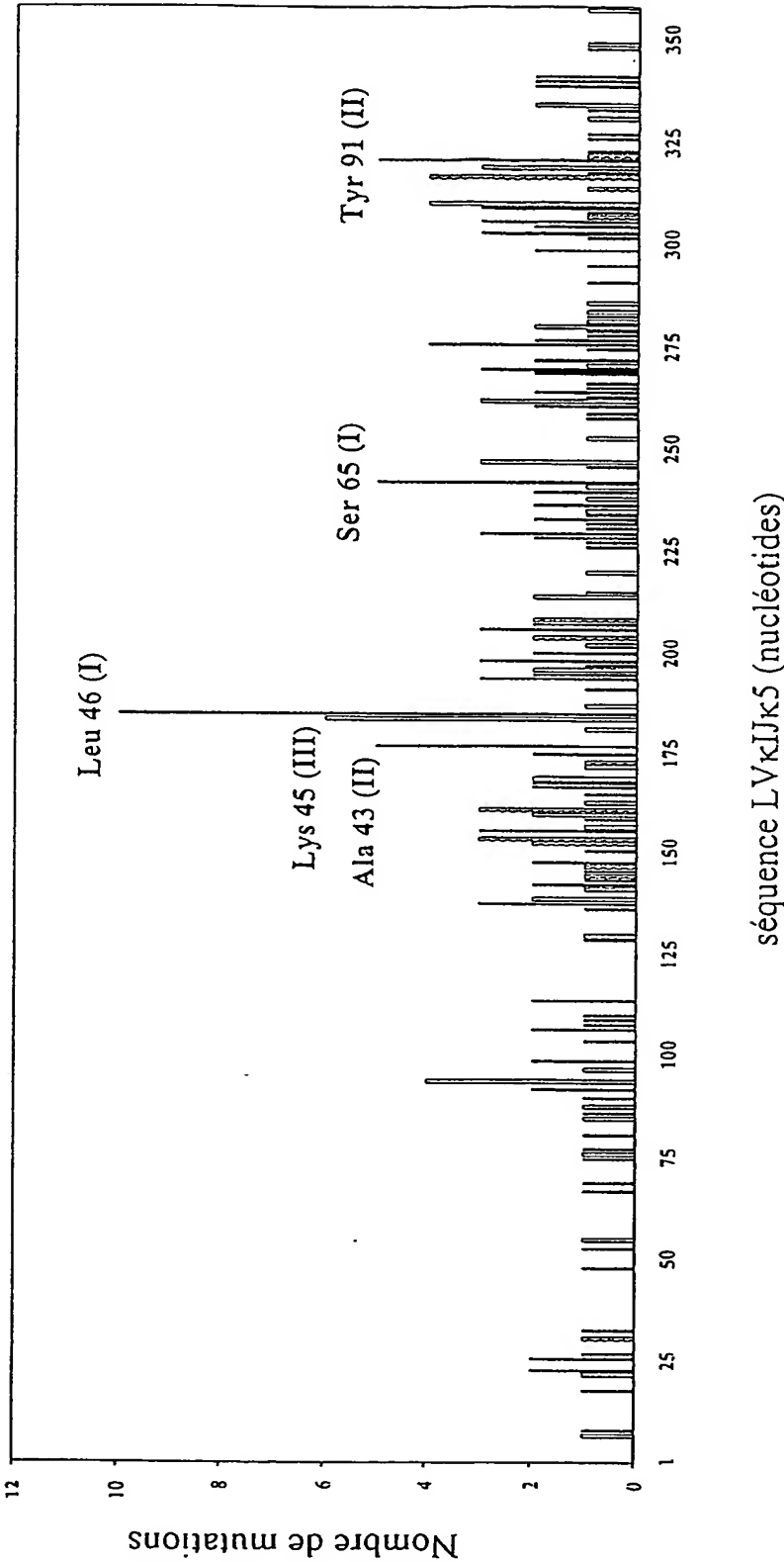


Figure 8

8/8

BEST AVAILABLE COPY

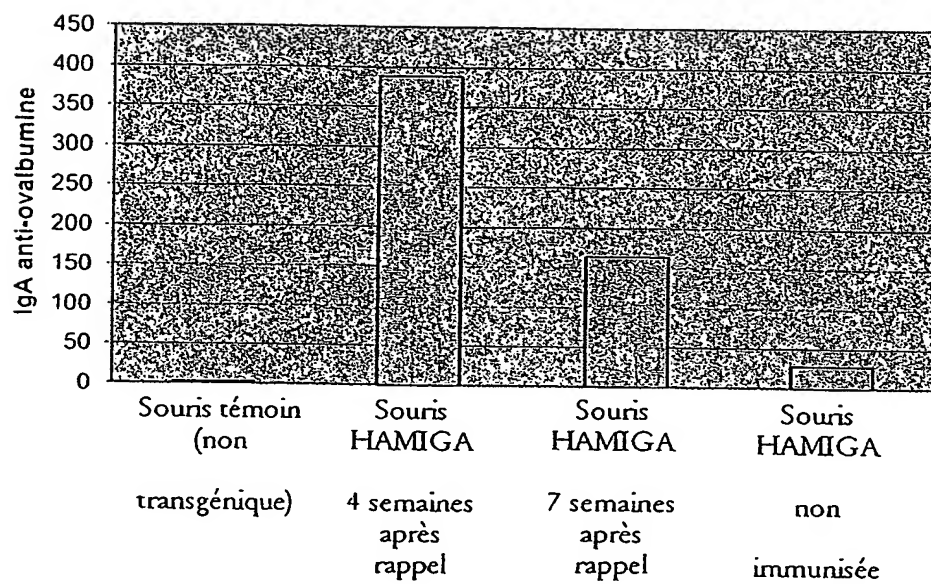


Figure 9

s644PCT115.ST25
SEQUENCE LISTING

<110> CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

COGNE, Michel

SIRAC, Christophe

BARDEL, Micael

DECOURT, Catherine

LE MORVAN, Caroline

<120> Mammifère non-humain transgénique pour la région constante de la chaîne lourde des immunoglobulines humaines de classe A et ses applications

<130> s644PCT115

<160> 6

<170> PatentIn version 3.1

<210> 1

<211> 21

<212> DNA

<213> artificial sequence

<220>

<223> amorce

<400> 1

gagtaccgtt gtctgggtca c

21

<210> 2

<211> 23

<212> DNA

<213> artificial sequence

<220>

<223> amorce

<400> 2

gagctctatg attattgggtt aac s644PCT115.ST25 23

<210> 3

<211> 22

<212> DNA

<213> artificial sequence

<220>

<223> amorce

<400> 3

gcatgatctg gacgaagagc at 22

<210> 4

<211> 22

<212> DNA

<213> artificial sequence

<220>

<223> amorce

<400> 4

tcccctcaga agaactcgtc aa 22

<210> 5

<211> 25

<212> DNA

<213> artificial sequence

<220>

<223> amorce

<400> 5

aagtcgacat ggacatgagg gtgcc 25

<210> 6

<211> 27

<212> DNA

<213> artificial sequence

<220>

s644PCT115.ST25

<223> amorce

<400> 6

ttctcgagac ttaggtttta tctccag

27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2004/002701A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 C07K16/46 A01K67/027

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 C07K A01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, CHEM ABS Data, MEDLINE, BIOSIS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PINAUD, ERIC ET AL: "Localization of the 3' Igh locus elements that effect long-distance regulation of class switch recombination" IMMUNITY, 15(2), 187-199 CODEN: IUNIEH; ISSN: 1074-7613, 2001, XP011182522	
A	MAGADAN S ET AL: "Production of antigen-specific human monoclonal antibodies: comparison of mice carrying Igh/kappa or Igh/kappa/lambda transloci." BIOTECHNIQUES, 33 (3) 680, 682, 684 PASSIM. JOURNAL CODE: 8306785. ISSN: 0736-6205., September 2002 (2002-09), XP001182373 ----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 March 2005

Date of mailing of the international search report

17/03/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Espen, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR2004/002701

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 545 807 A (BRUGGEMANN MARIANNE ET AL) 13 August 1996 (1996-08-13) cited in the application -----	
A	WO 02/059154 A (ABGENIX INC ; HE YUXIAN (US); CORVALAN JOSE R (US); PINTER ABRAHAM (US) 1 August 2002 (2002-08-01) cited in the application -----	
A	CHAUVEAU C ET AL: "Insertion of the IgH locus 3' regulatory palindrome in expression vectors warrants sure and efficient expression in stable B cell transfectants" GENE, ELSEVIER BIOMEDICAL PRESS. AMSTERDAM, NL, vol. 222, no. 2, November 1998 (1998-11), pages 279-285, XP004150057 ISSN: 0378-1119 -----	
A	RONAI D ET AL: "Use of a simple, general targeting vector for replacing the DNA of the heavy chain constant region in mouse hybridoma cells" JOURNAL OF IMMUNOLOGICAL METHODS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V.,AMSTERDAM, NL, vol. 275, no. 1-2, 1 April 2003 (2003-04-01), pages 191-202, XP004416768 ISSN: 0022-1759 -----	
P,X	KHAMLICH AHMED AMINE ET AL: "Immunoglobulin class-switch recombination in mice devoid of any Smu tandem repeat" BLOOD, vol. 103, no. 10, 15 May 2004 (2004-05-15), pages 3828-3836, XP002319762 ISSN: 0006-4971 figure 1 -----	18-23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/002701

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5545807	A	13-08-1996	AT 138104 T	15-06-1996
			AU 4417389 A	01-05-1990
			DE 68926508 D1	20-06-1996
			DE 68926508 T2	31-10-1996
			EP 0438474 A1	31-07-1991
			WO 9004036 A1	19-04-1990
			JP 4500911 T	20-02-1992
			JP 3484442 B2	06-01-2004
			JP 2003192699 A	09-07-2003
			KR 164608 B1	15-01-1999
WO 02059154	A	01-08-2002	CA 2436091 A1	01-08-2002
			EP 1373318 A2	02-01-2004
			WO 02059154 A2	01-08-2002

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2004/002701

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 C07K16/46 A01K67/027

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 C07K A01K

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, CHEM ABS Data, MEDLINE, BIOSIS

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	PINAUD, ERIC ET AL: "Localization of the 3' IgH locus elements that effect long-distance regulation of class switch recombination" IMMUNITY, 15(2), 187-199 CODEN: IUNIEH; ISSN: 1074-7613, 2001, XP011182522	
A	MAGADAN S ET AL: "Production of antigen-specific human monoclonal antibodies: comparison of mice carrying IgH/kappa or IgH/kappa/lambda transloci." BIOTECHNIQUES, 33 (3) 680, 682, 684 PASSIM. JOURNAL CODE: 8306785. ISSN: 0736-6205., septembre 2002 (2002-09), XP001182373	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

2 mars 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

17/03/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax. (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Espen, J

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/FR2004/002701

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 545 807 A (BRUGGEMANN MARIANNE ET AL) 13 août 1996 (1996-08-13) cité dans la demande	
A	WO 02/059154 A (ABGENIX INC ; HE YUXIAN (US); CORVALAN JOSE R (US); PINTER ABRAHAM (US) 1 août 2002 (2002-08-01) cité dans la demande	
A	CHAUVEAU C ET AL: "Insertion of the Igh locus 3' regulatory palindrome in expression vectors warrants sure and efficient expression in stable B cell transfectants" GENE, ELSEVIER BIOMEDICAL PRESS. AMSTERDAM, NL, vol. 222, no. 2, novembre 1998 (1998-11), pages 279-285, XP004150057 ISSN: 0378-1119	
A	RONAI D ET AL: "Use of a simple, general targeting vector for replacing the DNA of the heavy chain constant region in mouse hybridoma cells" JOURNAL OF IMMUNOLOGICAL METHODS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V.,AMSTERDAM, NL, vol. 275, no. 1-2, 1 avril 2003 (2003-04-01), pages 191-202, XP004416768 ISSN: 0022-1759	
P,X	KHAMLICH AHMED AMINE ET AL: "Immunoglobulin class-switch recombination in mice devoid of any Smu tandem repeat" BLOOD, vol. 103, no. 10, 15 mai 2004 (2004-05-15), pages 3828-3836, XP002319762 ISSN: 0006-4971 figure 1	18-23

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR2004/002701

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5545807	A	13-08-1996	AT 138104 T	15-06-1996
			AU 4417389 A	01-05-1990
			DE 68926508 D1	20-06-1996
			DE 68926508 T2	31-10-1996
			EP 0438474 A1	31-07-1991
			WO 9004036 A1	19-04-1990
			JP 4500911 T	20-02-1992
			JP 3484442 B2	06-01-2004
			JP 2003192699 A	09-07-2003
			KR 164608 B1	15-01-1999
WO 02059154	A	01-08-2002	CA 2436091 A1	01-08-2002
			EP 1373318 A2	02-01-2004
			WO 02059154 A2	01-08-2002